

ANÁLISE COMPARATIVA DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

TIAGO PEDROSO DE LIMA DE CARVALHO NEVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES



Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A todos que me ajudaram

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que me acompanharam neste percurso, e que tornaram a realização deste trabalho possível, nomeadamente:

À Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, minha orientadora, pela paciência, simpatia, motivação, disponibilidade e conhecimento transmitido.

Aos meus pais pelo constante incentivo e apoio demonstrados.

E por fim, aos meus amigos, que se mostraram sempre disponíveis.

Sem estas pessoas não teria sido possível. Um grande “Obrigado!”.

RESUMO

A crescente consciencialização a nível mundial para a importância dos impactos que as nossas ações possam causar na qualidade de vida das futuras gerações, direcionou os focos para os grandes setores, que são os responsáveis por uma grande percentagem da pegada humana no planeta a que chamamos Terra.

Dado o setor da construção ser um dos grandes responsáveis por essa pegada, ao longo das últimas décadas tem sido claro o esforço efetuado por organizações globais, como é o caso da ONU, em sugerir medidas e propor metas que, ao serem cumpridas/atingidas, possibilitem a redução dos impactos associados, direta ou indiretamente, a setores como o da construção. Isto fez com que surgissem termos como “construção de alto desempenho” e “construção sustentável”.

Tendo por base o conceito “construção sustentável”, decidiu-se, nesta dissertação, avaliar o desempenho de sustentabilidade, no âmbito ambiental, económico e funcional, de diferentes soluções construtivas de uso corrente.

De forma, a ser calculado o desempenho das diferentes soluções, foram escolhidos indicadores que, posteriormente, com recurso à metodologia MARS-SC (Metodologia de Avaliação Relativa de Sustentabilidade de Soluções Construtivas), permitiram atribuir um valor adimensional a cada objeto de estudo, em cada uma das áreas de desempenho. De seguida, atribuiu-se uma ponderação para cada âmbito de desempenho, e com recurso à metodologia MARS-SC, calculou-se o nível de desempenho global de sustentabilidade para cada solução.

A atribuição de um nível global para cada solução, tornou possível estabelecer um ranking, dentro de cada tipo de elemento construtivo, que definiu qual a melhor e pior soluções, dentro daquelas que foram estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Construção, Sustentabilidade, Desempenho, Ambiente, Economia.

ABSTRACT

The increase in global awareness to the importance of the impacts that our actions may cause in the life quality of future generations, placed the large sectors on the spotlight, because they are responsible for a large percentage of the human footprint on the planet we call the Earth.

Given the construction sector being one of the major responsible for that footprint, over the past few decades it has been clear the effort made by global organizations, like the UN, by suggesting measures and proposing goals that by being fulfilled/achieved, make it possible to reduce the impacts associated, directly or indirectly, with sectors such as construction. This gave rise to concepts such as “high performance construction” and “sustainable construction”.

Based on the concept “sustainable construction”, it was decided, in this dissertation, to evaluate the sustainability performance, in the environmental, economic and functional scope, of different constructive solutions of current use.

In order to calculate the performance of different solutions, indicators were chosen which, subsequently, using the MARS-SC methodology (Methodology of Relative Sustainability Assessment for Construction Solutions), allowed to attribute an adimensional value to each one of the objects of study, in each of the performance areas. Afterwards, a weight was assigned to each performance scope, and by using the MARS-SC methodology, the global sustainability performance level for each solution was calculated.

The attribution of a global level for each and every solution made it possible to establish a ranking, in every kind of construction element, that defined the best and worst solutions, within those that have been studied.

KEY-WORDS: Construction, Sustainability, Performance, Environment, Economy.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xvii
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	xix

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA.....	1

2. ENQUADRAMENTO 3

2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. EVOLUÇÃO DO CONCEITO	3
2.3. CONSTRUÇÃO E SUSTENTABILIDADE	4
2.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV).....	4
2.4.1. ACV NA CONSTRUÇÃO	6
2.4.1.1. Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	8
2.4.1.2. Alterações climáticas	8
2.4.1.3. Potencial de destruição da camada do ozono	8
2.4.1.4. Potencial de acidificação.....	9
2.4.1.5. Potencial de formação de ozono troposférico.....	9
2.4.1.6. Potencial de Eutrofização.....	9
2.4.1.7. Energia não renovável incorporada.....	9
2.4.1.8. Energia renovável incorporada.....	9
2.4.2. TECNOLOGIA EXISTENTE	9
2.4.2.1. ACV e desempenho ambiental.....	9
2.5. ANÁLISE ECONÓMICA	10
2.6. ANÁLISE FUNCIONAL - U	12

2.7. METODOLOGIA MARS-SC	12
---------------------------------	----

3. OBJETOS DE ESTUDO 15

3.1. INTRODUÇÃO	15
------------------------	----

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	15
-----------------------------------	----

3.2.1. FACHADAS	15
------------------------	----

3.2.1.1 Parede simples com isolamento pelo exterior	15
---	----

3.2.1.2. Fachada de pano duplo com caixa de ar	17
--	----

3.2.2. COBERTURAS	18
--------------------------	----

3.2.2.1. Cobertura plana tradicional	18
--------------------------------------	----

3.2.2.2. Cobertura plana invertida	19
------------------------------------	----

3.2.2.3. Cobertura plana ajardinada	20
-------------------------------------	----

3.2.2.4. Cobertura Inclínada	21
------------------------------	----

3.2.3. PAVIMENTOS	21
--------------------------	----

3.2.3.1. Pavimento de dupla vigota	22
------------------------------------	----

3.2.3.2. Pavimento em laje maciça	22
-----------------------------------	----

3.2.3.3. Pavimento de painéis alveolares	23
--	----

3.2.3.4. Pavimento em estrutura de madeira	23
--	----

3.3. MATERIAIS	24
-----------------------	----

3.3.1. ISOLAMENTO TÉRMICO	24
---------------------------	----

3.3.2. SUPORTES DE FACHADA	26
----------------------------	----

3.3.3. REVESTIMENTOS DE FACHADA	27
---------------------------------	----

3.3.4. REVESTIMENTOS DE PAVIMENTO	28
-----------------------------------	----

3.3.5. REVESTIMENTOS DE COBERTURA	29
-----------------------------------	----

4. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES EM ESTUDO. INDICADORES 31

4.1. INTRODUÇÃO	31
------------------------	----

4.2. INDICADORES AMBIENTAIS	32
------------------------------------	----

4.2.1. FACHADAS	32
-----------------	----

4.2.2. PAVIMENTOS	33
-------------------	----

4.2.3. COBERTURAS	35
-------------------	----

4.2.4. MATERIAIS	36
------------------	----

4.2.4.1. Isolamento térmico	37
-----------------------------	----

4.2.4.2. Alvenaria	38
4.2.4.3. Revestimento de fachada	39
4.2.4.4. Revestimentos de pavimento	41
4.2.4.5. Revestimentos de cobertura.....	42
4.3. INDICADORES ECONÓMICOS	44
4.3.1. FACHADAS	44
4.3.2. PAVIMENTOS	47
4.3.3. COBERTURAS	49
4.3.4. MATERIAIS	52
4.3.4.1. Isolamento Térmico.....	53
4.3.4.2. Alvenaria	53
4.3.4.3. Revestimento de fachada	53
4.3.4.4. Revestimento de Pavimento	53
4.3.4.5. Revestimento de Cobertura.....	53
4.4. INDICADOR FUNCIONAL.....	53
4.4.1. FACHADAS	54
4.4.2. PAVIMENTOS	55
4.4.3. COBERTURAS	55
4.4.4. MATERIAIS	56
 5. NORMALIZAÇÃO E COMPARAÇÃO.....	 59
5.1. INTRODUÇÃO	59
5.2. INDICADORES AMBIENTAIS	59
5.2.1. FACHADAS	60
5.2.2. PAVIMENTOS	60
5.2.3. COBERTURAS	61
5.2.4. MATERIAIS	62
5.3. INDICADORES ECONÓMICOS NORMALIZADOS	66
5.3.1. FACHADAS	66
5.3.2. PAVIMENTOS	67
5.3.3. COBERTURAS	67
5.3.4. MATERIAIS	68
5.3.4.1. Isolamento térmico	68
5.3.4.2. Alvenaria	69

5.3.4.3. Revestimento de fachada	69
5.3.4.4. Revestimento de pavimento	70
5.3.4.5. Revestimento de cobertura	71
5.4. INDICADOR FUNCIONAL NORMALIZADO	71
5.4.1. FACHADAS.....	71
5.4.2. PAVIMENTOS	72
5.4.3. COBERTURAS	72
5.4.4. MATERIAIS.....	73
5.5. DESEMPENHO GLOBAL	74
5.5.1. FACHADAS.....	74
5.5.2. PAVIMENTOS	75
5.5.3. COBERTURAS	75
5.5.4. MATERIAIS.....	75
 6. CONCLUSÕES	 79
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	79
 BIBLIOGRAFIA	 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fases de implementação do ACV	5
Figura 2 – ACV integrada das fases de uma construção, tendo só em consideração os aspetos ambientais	7
Figura 3 – Forma como a informação de uma solução construtiva está estruturada na base de dados de LCA	8
Figura 4 – Forma como a informação de uma solução construtiva está estruturada na base de dados de LCA de materiais	8
Figura 5 – Excerto do menu da base de dados económica	11
Figura 6 – Alternativas de solução	11
Figura 7 – Tabela discriminada dos custos	12
Figura 8 – Sistema ETICS.....	16
Figura 9 – Sistema de fachada ventilada.....	17
Figura 10 – Sistema de fachada de pano duplo com caixa de ar.....	18
Figura 11 – Cobertura plana tradicional.....	19
Figura 12 – Cobertura plana invertida.....	20
Figura 13 – Cobertura plana ajardinada	20
Figura 14 – Cobertura inclinada.....	21
Figura 15 – Pavimento de dupla vigota.....	22
Figura 16 – Pavimento sobre laje maciça	23
Figura 17 – Pavimento sobre painel alveolar	23
Figura 18 – Pavimento em estrutura de madeira.....	24
Figura 19 - Placas de EPS	25
Figura 20 – Manta de lã de rocha	25
Figura 21 – Manta de lã de vidro.....	25
Figura 22 – Placas de cortiça	26
Figura 23 – Placas de PUR.....	26
Figura 24 – Tijolo cerâmico.....	26
Figura 25 – Bloco de betão leve.....	27
Figura 26 – Placas de pedra para fachada e pavimento	27
Figura 27 – Chapas de zinco para fachada e coberturas	27
Figura 28 – Painéis de aglomerado de madeira e cimento	28
Figura 29 – Madeira para pavimento	28
Figura 30 – Pavimento cerâmico.....	28
Figura 31 – Pavimento em betão leve	29
Figura 32 – Telha cerâmica para cobertura	29
Figura 33 – Valores das resistências térmicas superficiais	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Unidades dos indicadores de impacto ambiental	32
Tabela 4.2 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase Cradle-to-gate.....	32
Tabela 4.3 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase fim de vida	32
Tabela 4.4 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução (soma das duas fases)	33
Tabela 4.5 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase Cradle-to-gate.....	33
Tabela 4.6 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase fim de vida	34
Tabela 4.7 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução (soma das duas fases)	34
Tabela 4.8 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase Cradle-to-gate.....	35
Tabela 4.9 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução na fase fim de vida	35
Tabela 4.10 – Valores de impactos ambientais associados à construção de 1m ² de solução (soma das duas fases)	36
Tabela 4.11 – Valores de impactos associados à produção de 1 kg de material.....	37
Tabela 4.12 – Tabela auxiliar para cálculo de P1	37
Tabela 4.13 – Impactes associados à produção de P1 de cada material	38
Tabela 4.14 – Valores de impactos associados à produção de 1 kg de material.....	38
Tabela 4.15 – Impactes associados à produção de P2 de cada material	39
Tabela 4.16 – Valores de impactos associados à produção de 1 kg de material.....	40
Tabela 4.17 – Tabela auxiliar para cálculo de P3	40
Tabela 4.18 – Impactes associados à produção de P3 de cada material	41
Tabela 4.19 – Valores de impactos associados à produção de 1 kg de material.....	41
Tabela 4.20 – Tabela auxiliar para cálculo de P4	42
Tabela 4.21 – Impactes associados à produção de P4 de cada material	42
Tabela 4.22 – Valores de impactos associados à produção de 1 kg de material.....	43
Tabela 4.23 – Tabela auxiliar para cálculo de P5	43
Tabela 4.24 – Impactes associados à produção de P5 de cada material	43
Tabela 4.25 – Custos associados a um sistema de fachada ETICS	44
Tabela 4.26 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada ETICS	44
Tabela 4.27 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada ETICS	45
Tabela 4.28 – Custo de reboco de um sistema de fachada ETICS	45
Tabela 4.29 – Custos associados a um sistema de fachada dupla (nº1)	45
Tabela 4.30 – Custos associados a um sistema de fachada dupla (nº2)	45
Tabela 4.31 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada dupla (pano interior)	46
Tabela 4.32 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada dupla (pano exterior)	46
Tabela 4.33 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada dupla (pano interior)	46
Tabela 4.34 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada dupla (pano exterior).....	46
Tabela 4.35 – Custo de reboco de um sistema de fachada dupla	46
Tabela 4.36 – Custos associados a um sistema de fachada ventilada	47

Tabela 4.37 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada ventilada	47
Tabela 4.38 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada ventilada	47
Tabela 4.39 – Custo de reboco de um sistema de fachada	47
Tabela 4.40 – Custo de revestimento exterior de um sistema de fachada	47
Tabela 4.41 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº1)	48
Tabela 4.42 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº2)	48
Tabela 4.43 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº3)	48
Tabela 4.44 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº4)	49
Tabela 4.45 – Custo de componentes estruturais de um sistema de pavimento	49
Tabela 4.46 – Custo de isolamento térmico de um sistema de pavimento.....	49
Tabela 4.47 – Custo de revestimento de um sistema de pavimento	49
Tabela 4.48 – Custos de componentes de um sistema de pavimento	49
Tabela 4.49 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº1)	50
Tabela 4.50 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº2)	50
Tabela 4.51 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº3)	50
Tabela 4.52 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº4)	51
Tabela 4.53 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº5)	51
Tabela 4.54 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº6)	51
Tabela 4.55 – Custos de componentes estruturais de um sistema de cobertura	52
Tabela 4.56 – Custo de isolamento térmico de um sistema de cobertura	52
Tabela 4.57 – Custo de revestimento exterior de um sistema de cobertura	52
Tabela 4.58 – Custos de outros componentes de um sistema de cobertura	52
Tabela 4.59 – Custos de diferentes tipos de isolamento	53
Tabela 4.60 – Custos de diferentes tipos de alvenaria	53
Tabela 4.61 – Custos de diferentes tipos de revestimento de fachada	53
Tabela 4.62 – Custos de diferentes tipos de revestimento de pavimento	53
Tabela 4.63 – Custos de diferentes tipos de revestimento de cobertura	53
Tabela 4.64 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada ETICS (m^2C/W)	54
Tabela 4.65 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada dupla nº1 (m^2C/W)	54
Tabela 4.66 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada dupla nº2 (m^2C/W)	54
Tabela 4.67 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada ventilada (m^2C/W)	54
Tabela 4.68 – Coeficiente de transmissão térmica das fachadas (W/m^2C)	55
Tabela 4.69 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº1 (m^2C/W)	55
Tabela 4.70 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº2 (m^2C/W)	55
Tabela 4.71 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº3 (m^2C/W)	55
Tabela 4.72 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº4 (m^2C/W)	55
Tabela 4.73 – Coeficiente de transmissão térmica dos pavimentos (W/m^2C)	55
Tabela 4.74 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº1 (m^2C/W)	56
Tabela 4.75 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº2 (m^2C/W)	56
Tabela 4.76 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº3 (m^2C/W)	56
Tabela 4.77 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº4 (m^2C/W)	56
Tabela 4.78 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº5 (m^2C/W)	56
Tabela 4.79 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº6 (m^2C/W)	56
Tabela 4.80 – Coeficiente de transmissão térmica das coberturas (W/m^2C).....	56
Tabela 4.81 – Valor das resistências térmicas de alvenarias (m^2C/W)	57
Tabela 4.82 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de fachada (m^2C/W)	57
Tabela 4.83 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de pavimento (m^2C/W)	57

Tabela 4.84 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de cobertura (m^2C/W)	57
Tabela 5.1 – Valores de referência, de fachadas, para os indicadores ambientais	58
Tabela 5.2 – Indicadores ambientais normalizados para fachadas.....	58
Tabela 5.3 – Valores de referência, de pavimentos, para os indicadores ambientais	58
Tabela 5.4 – Indicadores ambientais normalizados para pavimentos	59
Tabela 5.5 – Valores de referência, de coberturas, para os indicadores ambientais	59
Tabela 5.6 – Indicadores ambientais normalizados para coberturas	60
Tabela 5.7 – Valores de referência, de isolamentos térmicos, para os indicadores ambientais	60
Tabela 5.8 – Indicadores ambientais normalizados para isolamentos térmicos	61
Tabela 5.9 – Valores de referência, de alvenarias, para os indicadores ambientais	61
Tabela 5.10 – Indicadores ambientais normalizados para alvenarias	61
Tabela 5.11 – Valores de referência, de revestimentos de fachada, para os indicadores ambientais	62
Tabela 5.12 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de fachada	62
Tabela 5.13 – Valores de referência, de revestimentos de pavimento, para os indicadores ambientais	62
Tabela 5.14 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de pavimento	63
Tabela 5.15 – Valores de referência, de revestimentos de cobertura, para os indicadores ambientais	63
Tabela 5.16 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de cobertura.....	63
Tabela 5.17 – Valores de referência, de fachadas, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	64
Tabela 5.18 – Indicadores económicos normalizados para fachadas	64
Tabela 5.19 – Valores de referência, de pavimentos, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	65
Tabela 5.20 – Indicadores económicos normalizados para pavimentos	65
Tabela 5.21 – Valores de referência, de coberturas, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	66
Tabela 5.22 – Indicadores económicos normalizados para coberturas	66
Tabela 5.23 – Valores de referência, de isolamentos térmicos, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	66
Tabela 5.24 - Indicador económico normalizado para isolamentos térmicos.....	67
Tabela 5.25 – Valores de referência, de alvenarias, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	67
Tabela 5.26 - Indicador económico normalizado para alvenarias	67
Tabela 5.27 – Valores de referência, de revestimentos de fachada, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	67
Tabela 5.28 - Indicador económico normalizado para revestimentos de fachada	68
Tabela 5.29 – Valores de referência, de revestimentos de pavimento, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	68
Tabela 5.30 - Indicador económico normalizado para revestimentos de pavimento.....	68
Tabela 5.31 – Valores de referência, de revestimentos de cobertura, para os indicadores económicos ($€/m^2$)	68
Tabela 5.32 - Indicador económico normalizado para revestimentos de cobertura	69
Tabela 5.33 – Valores de referência, de fachadas, para o indicador funcional (W/m^2C)	69
Tabela 5.34 – Indicador funcional normalizado para fachadas	70
Tabela 5.35 – Valores de referência, de pavimentos, para o indicador funcional (W/m^2C)	70
Tabela 5.36 – Indicador funcional normalizado para pavimentos.....	70
Tabela 5.37 – Valores de referência, de coberturas, para o indicador funcional (W/m^2C)	71
Tabela 5.38 – Indicador funcional normalizado para coberturas	71
Tabela 5.39 – Indicador funcional normalizado para alvenarias.....	71
Tabela 5.40 – Indicador funcional normalizado para revestimento de fachadas.....	71

Tabela 5.41 – Indicador funcional normalizado para revestimento de pavimentos	71
Tabela 5.42 – Indicador funcional normalizado para revestimento de coberturas	72
Tabela 5.43 – Nível de desempenho global das fachadas	72
Tabela 5.44 – Nível de desempenho global dos pavimentos.....	72
Tabela 5.45 – Nível de desempenho global das coberturas	73
Tabela 5.46 – Nível de desempenho global dos isolamentos térmicos	73
Tabela 5.47 – Nível de desempenho global das alvenarias.....	74
Tabela 5.48 – Nível de desempenho global dos revestimentos de fachada.....	74
Tabela 5.49 – Nível de desempenho global dos revestimentos de pavimento.....	74
Tabela 5.50 – Nível de desempenho global dos revestimentos de cobertura	75

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(1) Equação para cálculo do coeficiente de transmissão térmica.....	12
(2) Equação para cálculo de indicadores normalizados.....	13
(3) Equação para cálculo de nível de desempenho global.....	13
(4) Equação para cálculo de V1.....	37
(5) Equação para cálculo de P1.....	37
(6) Equação para cálculo de V2.....	38
(7) Equação para cálculo de P2.....	38
(8) Equação para cálculo de V3.....	40
(9) Equação para cálculo de P3.....	40
(10) Equação para cálculo de V4.....	41
(11) Equação para cálculo de P4.....	41
(12) Equação para cálculo de V5.....	42
(13) Equação para cálculo de P5.....	42

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

R – coeficiente de resistência térmica [$\text{m}^2\text{C/W}$]

U – coeficiente de transmissão térmica [$\text{W/m}^2\text{C}$]

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ADP – Abiotic Depletion Potential

AP – Acidification Potential

ENR – Energia Não Renovável

EP – Eutrophication Potential

EPS – Expanded polystyrene

ER – Energia Renovável

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

E/C – Edifícios/construções

GWP – Global Warming Potential

ISO – International Organization for Standardization

LCA – Life Cycle Assessment

MARS-SC – Metodologia de Avaliação Relativa de Sustentabilidade de Soluções Construtivas

MJ - Megajoules

ODP – Ozone Depletion Potential

POCP – Photochemical Ozone Creation Potential

PUR – Espuma rígida de poliuretano

UV – Ultravioleta

WCED – World Commission on Environment and Development

Cob – cobertura

cm - centímetro

Ext – exterior

Int – interior

Kg – quilograma

m – metro

mm - milímetro

Pav - pavimento

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A construção, é um setor de grande dimensão, que está associado a diversos impactes e, por essa razão, tem surgido, cada vez mais, o termo sustentabilidade associado a este setor. Com isso em mente, têm sido desenvolvidos métodos e ferramentas que permitem avaliar o desempenho de diferentes soluções construtivas, de forma a compará-los e se proceder à escolha da opção mais sustentável.

1.2. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivos analisar o desempenho de sustentabilidade de diferentes soluções construtivas e perceber de que forma a utilização de diferentes materiais, com a mesma finalidade, altera o desempenho de sustentabilidade dos elementos em que estão inseridos. Serão alvo de análise diferentes elementos construtivos, sendo estes, diferentes soluções de fachada, diferentes soluções de pavimento e diferentes soluções de cobertura, bem como diferentes materiais que possam ser incluídos nos elementos acima referidos.

Desta forma, serão analisados o desempenho ambiental, o desempenho económico e o desempenho funcional, de maneira que seja possível realizar uma análise agregada dos desempenhos para se proceder à escolha da melhor solução construtiva dentro de cada categoria, e do melhor material também dentro da sua categoria.

1.3. ESTRUTURA

Esta tese será constituída por 5 capítulos, para além deste introdutório, onde é enquadrado o tema que será abordado, justificado o motivo para o desenvolvimento deste trabalho, bem como os objetivos a alcançar ao longo deste trabalho e a sua estruturação.

No segundo capítulo é realizado um enquadramento do termo “sustentabilidade” dentro do setor da construção, e através de que métodos é possível analisar o desempenho de diferentes soluções.

No terceiro capítulo é onde são apresentadas as diferentes soluções construtivas bem como os diferentes materiais que serão alvo de estudo.

No quarto capítulo são apresentados os valores dos indicadores ambientais, económicos e funcional, que servirão de base de comparação para as diferentes soluções construtivas e para os diferentes materiais em estudo.

No quinto capítulo serão utilizados os indicadores apresentados no capítulo anterior e, com recurso à metodologia MARS-SC, serão calculados os valores normalizados para cada indicador, para de seguida se calcular o nível de desempenho global das diferentes opções. Após o cálculo do nível de desempenho global serão classificadas as diferentes soluções, e indicada qual a melhor.

No sexto capítulo serão apresentadas as considerações finais sobre o trabalho efetuado nesta dissertação e eventuais desenvolvimentos futuros.

2

ENQUADRAMENTO

2.1. INTRODUÇÃO

Devido a certos fatores, como o aumento populacional, o desenvolvimento tecnológico, o crescimento da malha urbana e a excessiva utilização de recursos naturais, o ser humano encontrou-se numa posição em que não é mais possível ignorar os impactos associados a esses mesmos fatores, pois esses impactos são uma realidade com que as gerações presentes e futuras terão de lidar. Desta forma, conceitos como a “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável” foram ganhando relevância, conceitos estes que estão associados aos aspetos ambientais, económicos e sociais.

2.2. EVOLUÇÃO DO CONCEITO

Em meados do século XX verificou-se um ponto de evolução no modo como se entendiam as interações entre ambiente, economia e bem-estar social.

Só no final do século XX é que o conceito “construção sustentável” ganhou ênfase, na conferência do Rio de Janeiro, em 1992 (Rio 92). Esta conferência “apoiou-se” na conferência de Estocolmo de junho de 1972, bem como no *Brundtland Report*, publicado em 1987, pelas Nações Unidas. Nesta conferência delineou-se um programa de ação, para o desenvolvimento sustentável no século XXI, que foi compilado num documento chamado Agenda 21, que contribuiu para a divulgação do conceito de desenvolvimento sustentável a nível internacional.

Dez anos após o Rio 92, em 2002, ocorreu a convenção mundial sobre o desenvolvimento sustentável, denominada de Rio+10, com o intuito de analisar o progresso do estado do ambiente no decorrer da última década.

Em 2012, realizou-se, novamente no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável, Rio+20, que teve como principal objetivo renovar o compromisso político para o desenvolvimento sustentável.

Por fim, em 2015 ocorreu uma cimeira de chefes de estado, conhecida como *Acordo de Paris*, onde foram discutidas ações e medidas a adotar pós-2015. Daí surgiu a *Agenda 2030*, que é constituída por 17 objetivos de desenvolvimento sustentável a alcançar até ao ano 2030.

2.3. CONSTRUÇÃO E SUSTENTABILIDADE

Sendo que, o setor da construção está entre os maiores responsáveis pelos impactos ambientais no nosso planeta é importante tomar medidas que permitam torná-lo mais eficiente e sustentável. Os elevados consumos energéticos, desde a fase de extração de matérias-primas até à fase de exploração das construções, levam a um aumento das emissões de poluentes para a atmosfera, o que contribui para as alterações climáticas, pelo que a seleção dos materiais e das técnicas construtivas adequadas pode influenciar, significativamente, de forma positiva, o desempenho ambiental deste setor. Nesta linha de raciocínio surgiram diversos termos, como por exemplo “construção de alto desempenho”, “construção verde” e “construção sustentável”. Contudo, aquele que melhor expressa os aspetos ambientais, económicos e sociais é o termo “construção sustentável”. [1]

A construção sustentável, é a forma que este setor adotou para dar resposta aos objetivos definidos para um desenvolvimento sustentável.

De entre as diferentes definições, correntes, para o desenvolvimento sustentável, aquela que é mais utilizada, é a que se encontra no *Brundtland Report* [2], que o define como:

“Desenvolvimento que vai ao encontro das necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de verem salvaguardadas as suas próprias necessidades”

Esta definição envolve dois conceitos:

- Limitações impostas, pelo presente estado da tecnologia e organização social, aos recursos ambientais, e a capacidade da biosfera de absorver os efeitos das atividades humanas;
- Garantia de suprir as necessidades básicas de todos, em particular das populações pobres.

Devido a esta crescente consciencialização ambiental e dos impactos associados ao fabrico e consumo de produtos, houve um aumento no interesse do desenvolvimento de técnicas que permitam melhorar o entendimento e abordagem destes mesmos impactos.

2.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), tradução do termo inglês Life Cycle Assessment (LCA), é uma metodologia que permite avaliar e quantificar os impactos ambientais associados às diversas fases do ciclo de vida de um determinado produto, o que permite comparar, do ponto de vista ambiental, diferentes soluções construtivas que estarão sujeitas aos mesmos cenários.

Esta metodologia foi desenvolvida há dezenas de anos, contudo só foi normalizada no final da década de 90 (1997), pela Organização Internacional de Normalização através da ISO 14040, que posteriormente (2006) foi atualizada/alterada e em conjunto com ISO 14044:2006 veio substituir as normas utilizadas até à data.

A Análise do Ciclo de Vida é um método útil para quantificar que impactos ambientais poderão estar associados a todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas até à deposição final. Este método pode ser aplicado para:

- Comparação entre produtos semelhantes para comunicação interna ou externa;
- Avaliação dos impactos de cada etapa do ciclo de vida para o resultado global.

O método ACV dispõe de 3 tipos de abordagem distintos, que variam consoante as fases de ciclo de vida em análise:

- Cradle-to-grave (“do berço ao túmulo”): inclui todas as etapas do ciclo de vida, desde a fase de extração das matérias até à fase de deposição final;
- Cradle-to-gate (“do berço à porta”): inclui as etapas de ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas até à porta da fábrica, isto é, todos os processos anteriores ao seu transporte até ao consumidor final;
- Cradle-to-cradle (“do berço ao berço”): inclui as mesmas etapas que o cradle-to-grave, substituindo a fase de deposição final, por uma fase que diz respeito ao processo de reciclagem ou reutilização das matérias.

Quanto às fases que constituem o ciclo de vida de um produto, estas são a obtenção e extração de matérias-primas, o processamento, o transporte, o uso do produto, o tratamento de fim de vida e o seu destino final. Cada uma das fases será avaliada individualmente e tida em consideração a contribuição dos seus inputs (matérias e energia) e outputs (emissões) para o resultado final do ACV.

Para realizar uma ACV é necessário executar as seguintes fases:

- Fase de definição do objetivo e âmbito;
- Fase de análise de inventário;
- Fase de avaliação dos impactes;
- Fase de interpretação.

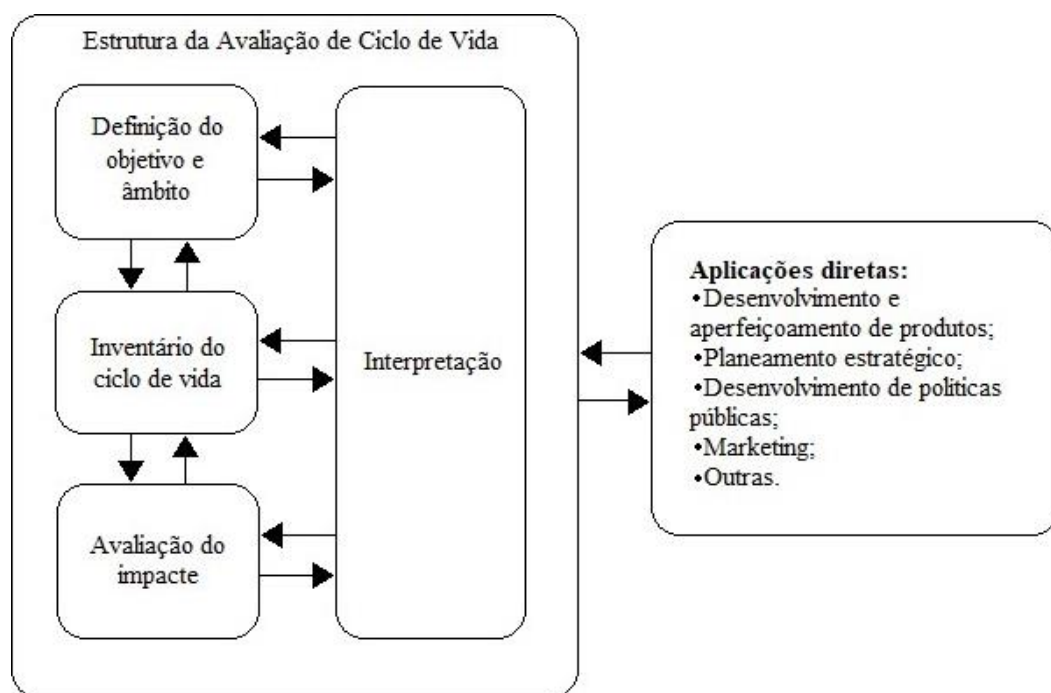


Figura 1 – Fases de implementação do ACV (Adaptado de ISO 14040:2006)

A primeira fase é onde se define a aplicação do estudo, qual a razão para a sua realização e os limites desse mesmo estudo (o que será ou não objeto de análise).

Na segunda fase é onde se realiza um inventário dos dados de inputs e outputs que dizem respeito ao sistema em estudo, que permitirão alcançar o objetivo previamente definido.

A terceira fase tem como objetivo fornecer informação adicional que permita analisar de forma mais criteriosa os resultados obtidos na fase anterior, de forma a perceber melhor qual o seu significado a nível ambiental.

Na quarta e última fase, é onde são discutidos os resultados da ACV de forma a ser possível tomar decisões e realizar recomendações tendo em conta o objetivo e âmbito que foram definidos para esta análise.

2.4.1. ACV NA CONSTRUÇÃO

Como os métodos de ACV não foram desenvolvidos em específico para o setor da construção e edifícios, estes métodos podem ser aplicados na avaliação de qualquer tipo de produto ou serviço. Desta forma, é possível aplicá-los no setor da construção, de maneira a avaliar o impacto ambiental de um só produto ou um grupo de produtos, como é o exemplo de um edifício ou algo até menos complexo como uma fachada ou uma cobertura.

Os edifícios estão projetados para um longo ciclo de vida, e cada edifício poderá realizar diferentes funções, para além de que cada construção engloba centenas, ou até milhares de produtos individuais pelo que a aplicação deste método (ACV) ao setor da construção é uma tarefa complexa.

A nível ambiental o setor da construção está ligado ao consumo de uma grande quantidade de recursos naturais e também a uma elevada produção de resíduos, desde a fase de extração das matérias-primas necessárias à construção até à fase de utilização. Por isso, cada vez mais o termo “sustentabilidade” tem vindo a surgir, quando se fala em construção.

Dito isto, é cada vez mais importante o uso deste tipo de ferramentas, neste setor, para que seja possível encontrar alternativas mais sustentáveis. Esta metodologia também permite analisar o desempenho económico e funcional de um edifício/construção.

Para os edifícios/construções (E/C), uma ACV genérica possui as seguintes metas e etapas [3]:

1. O ciclo de vida de um E/C é descrito. O que estará incluído no estudo dependerá do âmbito definido. Poderá incluir como o E/C é construído, utilizado, mantido, demolido e ainda o que acontecerá com os resíduos provenientes da demolição. Estes são os processos que contribuem para o desempenho do ciclo de vida de um E/C, contudo não quer dizer que serão incluídos em todos os estudos.
2. O E/C é decomposto em soluções construtivas e materiais. O formato como as diferentes soluções construtivas e materiais estão definidos não é relevante; o que importa é que o E/C esteja completamente descrito através da adição dos diferentes materiais e soluções construtivas.
3. Para cada solução construtiva e material, a ACV do processo de produção é realizado (cradle-to-gate). Esta análise, poderá também incluir o processo de transporte, utilização e manutenção, o processo de demolição, e ainda o processo de tratamento de resíduos para cada um dos materiais definidos no modelo do E/C. Caso inclua todos estes processos será uma análise cradle-to-grave. Existe ainda a possibilidade de ser considerada uma análise cradle-to-cradle, caso, no fim de vida, se opte pela reutilização ou reciclagem dos materiais.
4. Adicionam-se os resultados da ACV de cada material e solução construtiva para de forma a se alcançar o resultado final da ACV do E/C.

Na figura 2, encontra-se uma representação esquemática da ACV integrada das fases de uma construção, tendo só em consideração os aspetos ambientais.

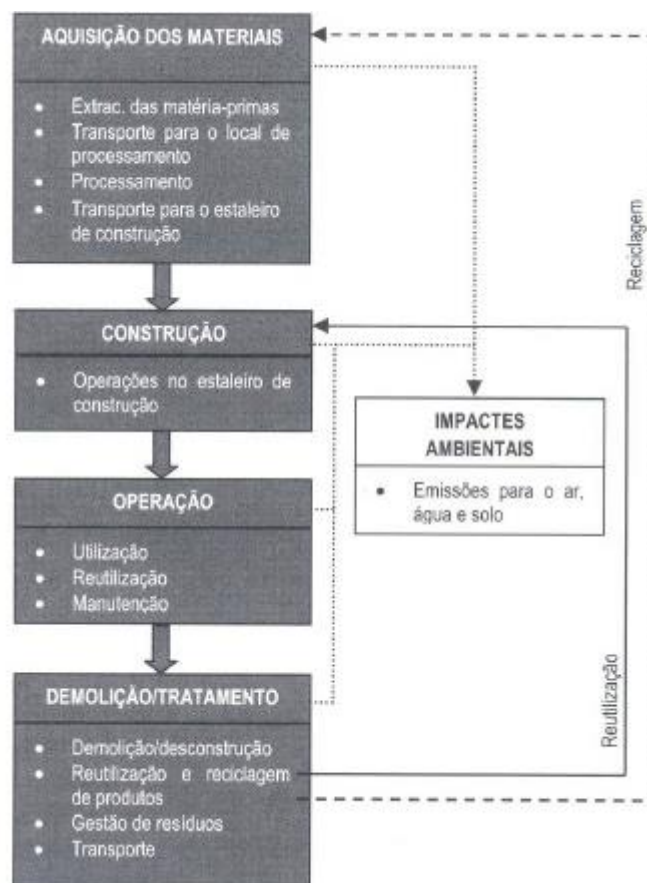


Figura 2 – ACV integrada das fases de uma construção, tendo só em consideração os aspetos ambientais [4]

De maneira a ser possível realizar uma análise, de ciclo de vida, comparativa dos impactos ambientais de diferentes soluções construtivas e de diferentes materiais de construção, serão consideradas as tabelas de [4], que integram a fase de ciclo de vida “Cradle-to-gate” e que utilizam os seguintes indicadores de impacto ambiental:

- ADP – Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos [Kg Sb eq];
- GWP – Alterações climáticas [Kg CO₂ eq];
- ODP – Potencial de destruição da camada de ozono [Kg CFC-11 eq];
- AP – Potencial de acidificação [Kg SO₂ eq];
- POCP – Potencial de formação de ozono troposférico [Kg C₂H₄ eq];
- EP – Potencial de eutrofização [Kg PO₄ eq];
- ENR – Energia não-renovável incorporada [MJ eq];
- ER – Energia renovável incorporada [MJ eq].

A figura 3 demonstra, de que forma, a informação referente às categorias de impacto ambiental de uma das soluções construtivas analisadas, está organizada na Base de Dados de LCA utilizada (R Mateus e L Bragança). No seguinte exemplo os valores apresentados, são correspondentes à construção de 1 m² de solução construtiva.

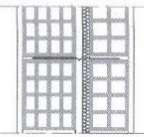
Solução construtiva	Parede dupla de alvenaria de tijolo furado (15cm+11cm) com isolamento térmico em XPS na caixa-de-ar	Ref: PExt 12							
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	<i>Cradle-to-gate</i>	3.70E-01	9.53E+01	1.02E-04	1.91E-01	1.13E-02	2.54E-02	8.68E+02	1.01E+02
	Fim de vida	2.08E-01	3.17E+01	5.00E-06	1.42E-01	5.40E-03	2.95E-02	4.75E+02	2.83E+00
	Total	5.78E-01	1.27E+02	1.07E-04	3.33E-01	1.67E-02	5.49E-02	1.34E+03	1.04E+02
Comentários:		Materiais Considerados: Tijolo furado, poliestireno expandido extrudido (isolamento térmico), argamassa de assentamento e reboco (revestimento) Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 2.04 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.04 (Para avaliar a energia) Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process							

Figura 3 – Forma como a informação de uma solução construtiva está estruturada na base de dados de LCA [4]

Caso a solução construtiva a analisar não esteja disponível na base de dados de soluções construtivas existente ou caso o objetivo seja analisar cada material individualmente, está disponível uma Base de dados de LCA de materiais. Nesta base de dados os impactos ambientais associados estão expressos por quilograma (Kg) de material, e só inclui a fase *Cradle-to-gate*. A figura 4 serve de exemplo para a base de dados de materiais referida e que será utilizada na presente dissertação.

Materiais	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Aço em perfil	<i>Cradle-to-gate</i>	4.54E-03	5.71E-01	5.40E-08	3.04E-03	1.85E-04	4.86E-04	8.66E00	1.16E-01
Aço para construção (em varão)		1.29E-02	1.25E+00	6.16E-08	5.57E-03	8.29E-04	1.30E-03	3.27E+01	1.52E-01
Aglomerado de madeira e cimento		5.21E-04	-3.27E-02	5.97E-09	3.10E-04	1.40E-05	4.33E-05	1.21E+00	2.08E+00
Alumínio, 50% reciclado		2.82E-02	4.28E+00	1.84E-06	3.80E-02	2.23E-03	1.21E-03	6.82E+01	0.00E+00

Figura 4 – Forma como a informação de uma solução construtiva está estruturada na base de dados de LCA de materiais [4]

2.4.1.1. Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos

Esta categoria de impacto ambiental destina-se a avaliar a proteção e preservação dos ecossistemas e exploração das reservas de recursos naturais existentes no mar, terra ou atmosfera, incluindo combustíveis fósseis. Exprime-se em quilogramas de antimónio (Sb) equivalente por quilograma de recurso extraído.

2.4.1.2. Alterações climáticas

Tem como objetivo analisar a emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP100). Expressa-se em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono por quilograma de emissão libertada para a atmosfera.

2.4.1.3. Potencial de destruição da camada do ozono

A destruição da camada de ozono estratosférico leva a um aumento da radiação UV-V, que atinge a superfície terrestre. Esta situação tem a possibilidade de acarretar diversos efeitos negativos, bem como

afetar a durabilidade e desempenho de materiais. Está definido em quilogramas equivalentes de triclorofluometano (CFC-11) por quilograma de emissão.

2.4.1.4. Potencial de acidificação

Este indicador avalia a quantidade de gases que são emitidos para a atmosfera e que são convertidos em substâncias ácidas. Está expresso em quilogramas equivalentes de dióxido de enxofre (SO₂) por cada quilograma de emissões para a atmosfera.

2.4.1.5. Potencial de formação de ozono troposférico

A oxidação fotoquímica, resultado da ação da radiação ultravioleta sobre compostos químicos como os óxidos de azoto (NO), monóxido de carbono (CO) e os compostos orgânicos voláteis (VOCs), trazem repercussões graves para a saúde, culturas agrícolas, alterações na biodiversidade e danos materiais. Expressa-se em quilogramas equivalentes de etileno (C₂H₄) por cada quilograma de emissão.

2.4.1.6. Potencial de Eutrofização

Este é um problema ambiental associado à emissão de azoto (N) e fósforo (P) que provocam fertilização excessiva no ambiente, sobretudo em cursos de água, o que pode conduzir à morte de espécies. Expressa-se em quilogramas equivalentes de fosfato (PO₄) por quilograma de emissão.

2.4.1.7. Energia não renovável incorporada

Este indicador exprime o consumo de energia não renovável que está associado ao ciclo de vida de um produto. Está expresso em equivalentes de megajoules (MJ). Porém, neste caso só é considerada a fase Cradle-to-gate e fase de fim de vida.

2.4.1.8. Energia renovável incorporada

Diz respeito ao consumo de energia, de fontes renováveis, utilizado nas diferentes fases de ciclo de vida. Pode servir como um indicador positivo, pois demonstra a utilização de fontes de energia renováveis em detrimento de não renováveis. Está expresso em equivalentes de megajoules (MJ). Porém, neste caso só é considerada a fase Cradle-to-gate e fase de fim de vida.

2.4.3. TECNOLOGIA EXISTENTE

De forma a facilitar a realização de uma análise de sustentabilidade, foram sendo desenvolvidos diferentes métodos e tecnologias de informação.

2.4.3.1. ACV e desempenho ambiental

Como já foi referido, um dos métodos que permite avaliar a vertente ambiental, aquela sobre a qual esta dissertação maioritariamente aborda, no setor da construção é a Análise de Ciclo de Vida. Pelo que foram desenvolvidas diversas ferramentas informáticas que têm por base a metodologia de ACV.

Um exemplo dessas ferramentas de análise de ciclo de vida é o:

- BEES – usada para analisar o perfil ambiental de um produto e comparar o desempenho de diferentes produtos da mesma categoria. Permite também analisar o desempenho económico;

Existem ainda ferramentas para avaliação do desempenho ambiental de edifícios, como:

- SBTool – esta ferramenta é a implementação do software do método Green Building Challenge.
- LEED – É um sistema de certificação que avalia o desempenho ambiental de um edifício em quatro diferentes categorias, foi desenvolvido pelo U.S. Green Building Council.

2.5. ANÁLISE ECONÓMICA

Nesta análise de sustentabilidade serão introduzidos 2 indicadores económicos, sendo eles o custo associado à execução de 1m² de solução construtiva, que inclui o valor da mão-de-obra, o valor de equipamentos e dos materiais necessários, e custo de manutenção decenal nos primeiros 10 anos. Para isso será utilizada a base de dados do CYPE [5]. É necessário ter em consideração que esta base de dados tem as suas limitações, pelo que poderão existir pequenas variações nos valores apresentados, quando comparados com o valor real das soluções em análise.

Em seguida serão apresentadas 3 imagens para exemplificar de que forma está organizada a base de dados, e de que forma são apresentados os valores. A 1ª figura serve de exemplo da apresentação do menu com as diferentes opções. A 2ª representa de que maneira se pode alterar características da solução escolhida. E a 3ª representa de que forma é apresentada a informação relativa aos custos associados a 1m² de solução.

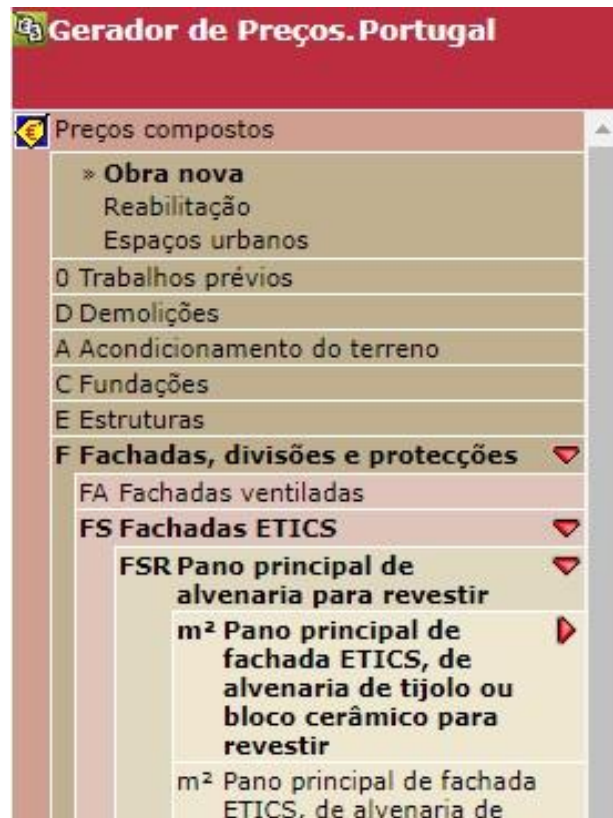
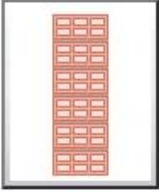
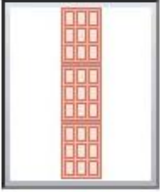


Figura 5 – Excerto do menu da base de dados económica [5]

Pano exterior Padieiras Remate de laje

☒ Tijolo cerâmico furado
☐ Tijolo cerâmico perfurado
☐ Tijolo cerâmico maciço

Desperdícios e roturas de peças (%) 5.0

☒ Convencional

Tijolo Argamassa Junta

Dimensões (cm)
☒ 30x20x15 ☐ 30x20x22

Figura 6 – Alternativas de solução [5]

Ampliar

Ocultar os capítulos

Enviar sugestão

Exportação:

FIE

BDC

17,92€

FSR010

m²

Pano principal de fachada ETICS, de alvenaria de tijolo ou bloco cerâmico para revestir.

Pano principal de fachada ETICS, apoiado sobre a laje e faceado, de 15 cm de espessura, de alvenaria de tijolo cerâmico furado triplo, para revestir, 30x20x15 cm, com juntas horizontais e verticais de 10 mm de espessura, assente com argamassa de cimento confeccionada em obra, com 250 kg/m² de cimento, cor cinzento, dosificação 1:6, fornecida em sacos. Padreira de alvenaria armada de tijolos cortados para revestir, montagem e desmontagem de escoramento.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt04pt010e	Ud	Tijolo cerâmico furado triplo, para revestir, 30x20x15 cm, para utilização em alvenaria protegida (peça P), densidade 650 kg/m³, segundo NP EN 771-1.	16.000	0,22	3,52
mt08aaa010a	m²	Água.	0,010	1,50	0,02
mt01arg005a	t	Areia de pedreira, para argamassa preparada em obra.	0,019	18,00	0,34
mt08cem011a	kg	Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 R, cor cinzento, em sacos, segundo NP EN 197-1.	2,911	0,10	0,29
mt07aco040b	kg	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões nervurados, A400 NR, de vários diâmetros.	0,400	0,78	0,31
mt08cem000k	kg	Cimento cinzento em sacos.	0,860	0,10	0,09
mt01arg000k	m²	Areia crivada.	0,001	17,00	0,02
mt01arg001kd	m²	Agregado grosso homogeneizado de tamanho máximo 12 mm.	0,002	25,00	0,05
mt50spa050m	m²	Pranchão de madeira de pinho, dimensões 20x7,2 cm.	0,001	366,00	0,37
mt50spa081a	Ud	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,003	16,04	0,05
mt50spa101	kg	Pregos de aço.	0,011	1,56	0,02
mq06hor010	h	Betoneira.	0,008	1,68	0,01
mo021	h	Oficial de 1ª construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,364	18,85	6,86
mo114	h	Operário não qualificado construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,315	17,83	5,62
	%	Custos directos complementares	2,000	17,57	0,35
Custo de manutenção decenal: 0,54€ nos primeiros 10 anos.				Total:	17,92

Figura 7-Tabela discriminada dos custos [5]

2.6. ANÁLISE FUNCIONAL - U

Como diferentes soluções possuem diferentes características, e proporcionam diferentes condições, é necessário considerar a vertente funcional dessas soluções por forma a que a comparação entre soluções esteja, de certa forma, equilibrada.

Existem certos parâmetros, que quando combinados com os aspetos económico e ambiental, permitem tirar ilações mais coerentes sobre o desempenho de diferentes soluções, de maneira, a que se consiga garantir a escolha de soluções realmente sustentáveis.

Para isso seleccionou-se o parâmetro U – coeficiente de transmissão térmica – que permitirá equilibrar a análise global das diferentes soluções.

Este valor de U para elementos constituídos por um ou mais materiais, é definido pela seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se}} \quad (1)$$

Em que:

n – nº de camadas;

R_{si} – Resistência térmica da superfície interior [m²·°C/W];

R_j – Resistência térmica da camada j [m²·°C/W];

R_{se} – Resistência térmica da superfície exterior [m²·°C/W].

2.7. METODOLOGIA MARS-SC

Esta é uma metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, proposta pelo Prof. Ricardo Mateus da Universidade do Minho, que permite a comparação de alternativas.

A sustentabilidade das soluções alternativas em análise é avaliada em relação a uma outra solução de referência que cumpra a mesma função. Cada indicador de desempenho (ambiental, económico ou funcional) de cada solução alternativa, é avaliado e comparado com os valores de desempenho das restantes soluções em estudo.

Para se realizar uma análise de desempenho é necessário seguir os seguintes passos:

- Selecionar os indicadores;
- Definir soluções de referência e soluções alternativas;
- Quantificar os indicadores;
- Normalizar os indicadores;
- Analisar o desempenho das soluções;
- Agregar os indicadores;
- Determinar o nível de sustentabilidade.

Nesta metodologia a normalização dos valores é realizada através do cálculo do nível de desempenho de cada indicador, numa escala adimensional, em que 0 diz respeito à pior solução e 1 à melhor.

O valor normalizado do indicador de desempenho n , para uma determinada solução, na escala [0-1], é obtido pela expressão:

$$\bar{I}_n = \frac{I_n - I_p}{I_m - I_p} \quad (2)$$

Em que:

- I_n – valor do desempenho dessa solução para o indicador n ;
- I_m – valor do desempenho da melhor solução para o indicador n ;
- I_p – valor do desempenho da pior solução para o indicador n .

A agregação dos indicadores pode ser realizada individualmente para cada uma das dimensões em estudo ou conjuntamente, de forma a determinar o Nível de Sustentabilidade global.

Nesta dissertação será realizada em primeira instância individualmente e em seguida globalmente, usando um sistema de ponderação a definir mais à frente.

O nível de Sustentabilidade é determinado através da seguinte fórmula:

$$NS = \sum_{n=1}^m P_n \times \bar{I}_n \quad (3)$$

Em que:

NS – é o nível de sustentabilidade da solução;

m – é o número de indicadores considerados;

P_n – é peso atribuído ao indicador n ;

$\bar{I}_n$ – é o valor de desempenho normalizado do indicador n , para essa solução [0 – 1].

Com este nível de sustentabilidade global será possível comparar a sustentabilidade de diferentes soluções.

3

OBJETOS DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

Como foi referido anteriormente, esta dissertação tem como objetivo analisar a sustentabilidade de diferentes soluções construtivas e de diferentes materiais utilizados na construção e proceder a uma comparação daqueles que estão enquadrados na mesma categoria.

No presente capítulo serão indicadas quais as soluções construtivas e materiais de construção a ser alvo dessa análise, bem como apresentadas representações esquemáticas das soluções e respetivos materiais que as constituem.

É importante salientar que esta análise de sustentabilidade tem o carácter ambiental como parâmetro principal.

Foi então definido que as tipologias de soluções construtivas a analisar serão:

- Paredes exteriores (fachadas);
- Coberturas;
- Pavimentos.

E que os materiais a avaliar serão componentes, que se considerou pertinentes analisar face às soluções construtivas apresentadas.

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.2.1. FACHADAS

As fachadas são um elemento construtivo vertical, denominado de parede, localizado na fronteira de um edifício com o meio exterior.

No caso das fachadas, foram consideradas 4 diferentes soluções, sendo essas as seguintes:

- Parede simples com isolamento pelo exterior (2 diferentes soluções);
- Fachada de pano duplo com caixa de ar (2 diferentes soluções);

3.2.1.1 Parede simples com isolamento pelo exterior

Nesta categoria serão apresentados 2 sistemas.

O primeiro sistema é vulgarmente conhecido como **ETICS** (External Thermal Insulation Composite System), sendo este um sistema, frequentemente, utilizado na construção.

Este sistema é constituído pelos seguintes elementos/camadas:

1. Reboco interior;
2. Suporte (alvenaria ou betão);
3. Produto de colagem;
4. Isolamento térmico;
5. Camada de base armada com rede de reforço de fibra de vidro;
6. Camada de primário;
7. Camada de acabamento.

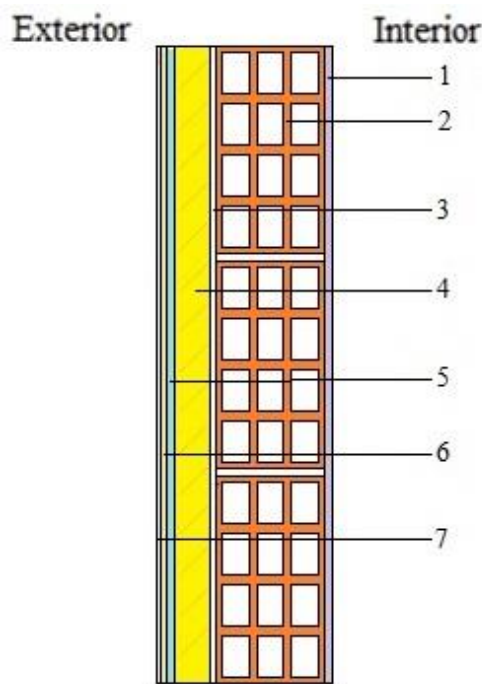


Figura 8 – Sistema ETICS

No presente caso os materiais utilizados são: reboco tradicional (face interior), tijolo furado (22cm), argamassa de assentamento, poliestireno expandido (isolamento térmico), reboco armado (face exterior).

O segundo sistema, é um sistema de **fachada ventilada**.

Esta é uma solução de fachada moderna, cada vez mais utilizada na construção. Consiste num suporte (alvenaria ou betão) com isolamento térmico na face exterior, e um revestimento descontínuo exterior que é fixado numa estrutura de suporte ou fixado à parede de suporte, de forma pontual, através de grampos, dependendo da solução de revestimento. A camada de isolamento e o revestimento exterior estão separados por uma câmara de ar.

As camadas que constituem esta fachada são:

1. Reboco interior;
2. Pano (alvenaria ou betão);
3. Produto de colagem;
4. Isolamento térmico;
5. Estrutura de fixação;
6. Câmara de ar;
7. Revestimento exterior.

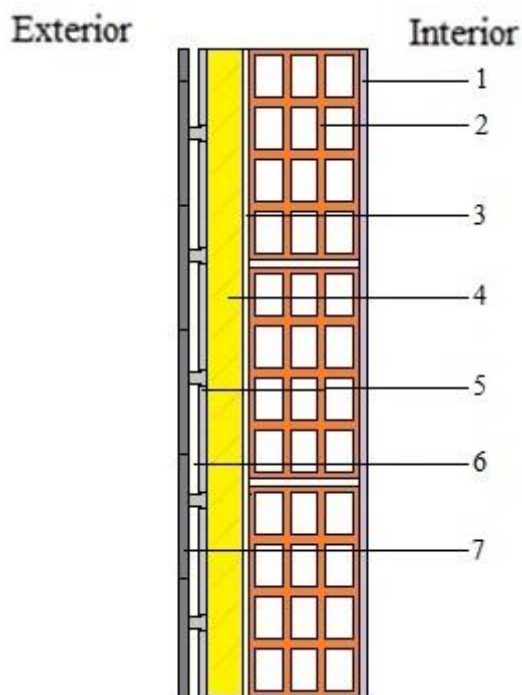


Figura 9 – Sistema de fachada ventilada

Na solução de fachada ventilada os materiais considerados são: tijolo furado (22 cm) como pano de alvenaria; lã de rocha (4 cm), como isolamento térmico, fixado na face exterior do tijolo; argamassa de assentamento; aço galvanizado como estrutura de fixação; placas de aglomerado de madeira e cimento como revestimento exterior; reboco tradicional.

Para revestimento exterior, também são correntemente utilizadas placas de pedra. Contudo, devido à diferença de cargas seria necessário utilizar uma estrutura de suporte diferente.

3.2.1.2. Fachada de pano duplo com caixa de ar

Este sistema é constituído por dois panos de alvenaria com uma camada de ar com isolamento térmico, entre eles.

Os componentes que constituem este sistema são os seguintes:

1. Reboco interior;
2. Pano interior;
3. Produto de colagem;
4. Isolamento térmico;
5. Caixa de ar;
6. Pano exterior;
7. Reboco exterior

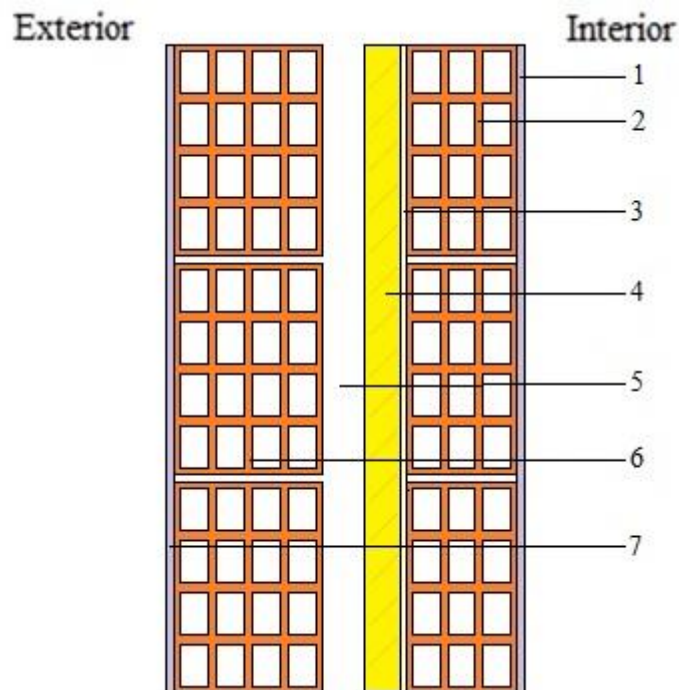


Figura 10 – Sistema de fachada de pano duplo com caixa de ar

Na solução de parede dupla nº1 o pano de alvenaria exterior é constituído por tijolo furado de 15 cm enquanto o pano interior é por tijolo furado de 11 cm, sendo os restantes materiais o poliestireno expandido (isolamento térmico) fixado no pano interior e preenchendo parcialmente a caixa de ar, argamassa de assentamento e reboco tradicional (exterior e interior).

Na solução de parede dupla nº2 a única alteração será no material do pano exterior de alvenaria, que em vez de ser tijolo furado, será constituído por tijolo maciço de 11 cm e sem reboco exterior.

3.2.2. COBERTURAS

No caso das coberturas, foram consideradas 6 diferentes soluções, sendo essas as seguintes:

- Cobertura plana tradicional (2 soluções);
- Cobertura plana invertida;
- Cobertura plana ajardinada;
- Cobertura inclinada (2 soluções).

3.2.2.1 Cobertura plana tradicional

Este tipo de cobertura é caracterizado por ter o isolamento térmico colocado sob a camada de impermeabilização.

As componentes constituintes deste sistema são os seguintes:

1. Laje;
2. Regularização;
3. Barreira pára-vapor;
4. Isolamento térmico;
5. Impermeabilização;

6. Camada de dessolidarização;
7. Camada de proteção.

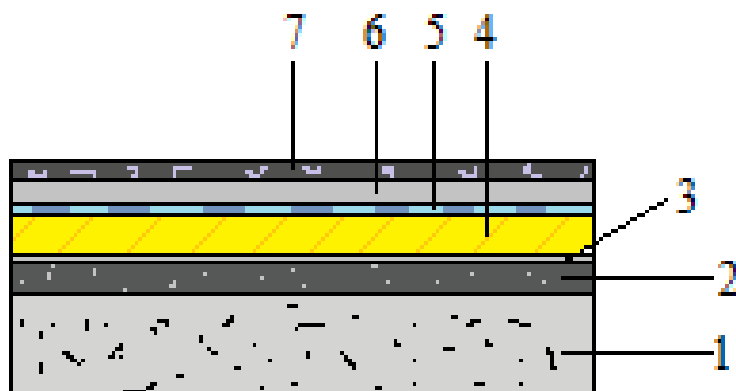


Figura 11 – Cobertura plana tradicional

No caso da solução de cobertura tradicional nº1, os materiais utilizados e respectivas espessuras são: para o revestimento interior reboco tradicional (2 cm); a estrutura de suporte é em laje maciça de betão armado (20 cm); camada de regularização em betão leve (10 cm); barreira para-vapor em PVC; isolamento térmico em EPS (8 cm); impermeabilização através de membranas de PVC; manta de geotêxtil; godo como camada de revestimento exterior (10 cm).

No caso da solução de cobertura tradicional nº2, os materiais utilizados são os mesmos da solução anterior até à camada 5, inclusive. Sobre essa camada é colocada uma camada de forma de betão armado (6 cm), e por fim o revestimento exterior, que é realizado em mosaico cerâmico.

3.2.2.2. Cobertura plana invertida

Esta solução de cobertura, sendo semelhante à anterior, possui uma diferença quanto à localização da camada de impermeabilização. Neste caso a camada de isolamento encontra-se sobre a camada de impermeabilização. Desta forma, o isolamento protege a camada de impermeabilização da ação de radiação UV e ações mecânicas e sobretudo do choque térmico, o que beneficia a impermeabilização ao nível da durabilidade e do comportamento.

Os componentes que constituem este sistema são os seguintes:

1. Laje;
2. Regularização;
3. Impermeabilização;
4. Isolamento térmico;
5. Camada de dessolidarização;
6. Camada de proteção.

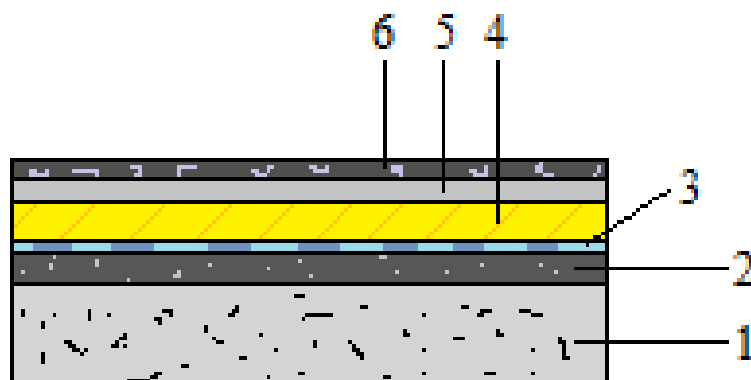


Figura 12 – Cobertura plana invertida

No caso da cobertura plana invertida, os materiais utilizados e respectivas espessuras são: revestimento interior em reboco tradicional (2 cm); para estrutura de suporte é considerada uma laje aligeirada (24 cm) com abobadilha cerâmica; camada de regularização em betão leve (10 cm); impermeabilização realizada com camada de membranas betuminosas; feltro separador; isolamento térmico em poliestireno expandido (EPS) (8 cm); e como camada exterior uma betonilha armada (6 cm).

3.2.2.3. Cobertura plana ajardinada

Esta cobertura possui características semelhantes às de uma cobertura plana invertida, na medida em que o isolamento térmico se encontra sobre a camada de impermeabilização.

As componentes que constituem este sistema são as seguintes:

1. Laje;
2. Regularização;
3. Impermeabilização;
4. Isolamento térmico;
5. Camada drenante;
6. Terra vegetal;
7. Plantas.

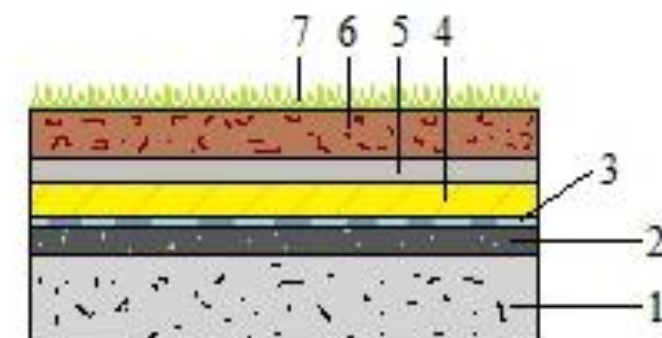


Figura 13 – Cobertura plana ajardinada

Na solução de cobertura ajardinada, os materiais utilizados e respectivas espessuras são: revestimento interior em reboco tradicional (2 cm); laje maciça de betão armado (20 cm); camada de forma em betão

leve (5 cm); impermeabilização feita através de membranas betuminosas; feltro separador; isolamento térmico em poliestireno expandido (EPS) (8 cm); feltro separador; camada drenante de gravilha (10 cm); e revestimento exterior em terra vegetal (20 cm) com plantas.

As camadas de feltro separador não estão incluídas na legenda, pois são de espessura reduzida e causariam sobreposição de informação.

3.2.2.4. Cobertura Inclinada

Como o próprio nome indica, é uma cobertura com uma pendente inclinada, em que o revestimento exterior é comumente realizado em telhas cerâmicas.

Este sistema é constituído pelas seguintes camadas:

1. Estrutura;
2. Barreira pára-vapor;
3. Isolamento térmico;
4. Suporte de revestimento exterior;
5. Revestimento exterior.

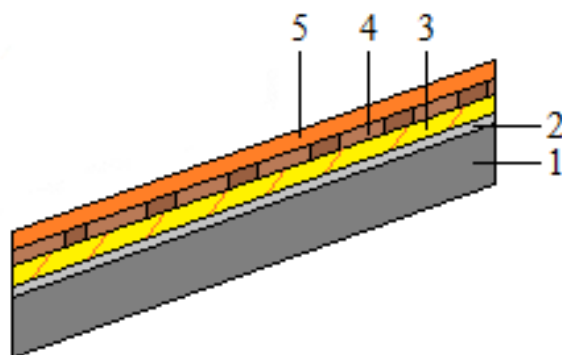


Figura 14 – Cobertura inclinada

Como já foi referido, serão analisadas duas diferentes soluções de cobertura inclinada. Contudo, o esquema apresentado anteriormente é representativo para ambas as soluções.

A solução nº1, é constituída pelos seguintes materiais e respetivas espessuras: revestimento interior em placas de gesso (1,25 cm); estrutura de suporte em madeira; barreira pára-vapor em membranas de PVC; isolamento térmico em EPS (8 cm); suporte para revestimento exterior em madeira (ripado e varas); revestimento exterior em telha cerâmica.

A solução nº2, é constituída pelos seguintes materiais e respetivas espessuras: reboco tradicional (2 cm) como revestimento interior; estrutura de suporte em laje maciça de betão armado (20 cm); barreira pára-vapor em membranas de PVC; isolamento térmico em EPS (8 cm); suporte para revestimento exterior em madeira (ripado e contra-ripado); revestimento exterior em telha cerâmica.

3.2.3. PAVIMENTOS

É um sistema construtivo horizontal, que está sujeito a cargas como circulação de pessoas e móveis.

Neste caso foram consideradas 4 diferentes soluções:

- Pavimento de dupla vigota;

- Pavimento em laje maciça de betão armado;
- Pavimento de painéis alveolares;
- Pavimento em estrutura de madeira.

3.2.3.1. Pavimento de dupla vigota

Este pavimento é constituído pelas seguintes camadas:

1. Revestimento inferior
2. Isolamento;
3. Caixa de ar;
4. Laje;
5. Isolamento;
6. Revestimento superior.



Figura 15 – Pavimento de dupla vigota

Os componentes, e respetivas espessuras, que constituem as camadas desta solução são os seguintes: como revestimento inferior foram utilizados painéis de gesso cartonado (1,25 cm) que se encontram separados do suporte por uma caixa de ar de 15 cm.; como isolamento foi colocada no tardo das placas de gesso cartonado, uma manta de lã de rocha (2,5 cm); a estrutura de suporte é constituída por uma dupla vigota com blocos cerâmicos (25 cm); entre o suporte e a camada superior foi colocada uma folha de espuma de polietileno (0,3 cm) onde assentam placas de aglomerado negro de cortiça (4 cm); como revestimento superior foi utilizado uma lajeta de betão leve (4 cm).

3.2.3.2. Pavimento em laje maciça

Este pavimento é constituído pelas seguintes camadas:

1. Revestimento inferior
2. Isolamento;
3. Caixa de ar;
4. Laje;
5. Isolamento;
6. Revestimento superior.

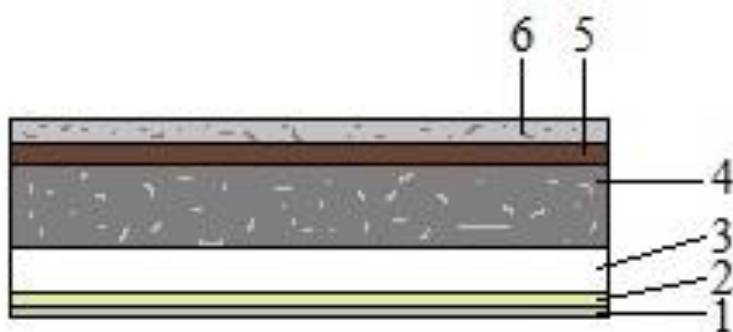


Figura 16 – Pavimento sobre laje maciça

Esta solução de pavimento é idêntica à anterior, sendo a única diferença na camada estrutural, que é constituída por uma laje maciça de 20 cm de espessura. As restantes camadas são constituídas pelos mesmos componentes da solução anterior, incluindo as espessuras, e mantendo-se também a ordem.

3.2.3.3. Pavimento de painéis alveolares

Este pavimento é constituído pelas seguintes camadas:

1. Revestimento inferior
2. Isolamento;
3. Caixa de ar;
4. Laje;
5. Isolamento;
6. Revestimento superior.

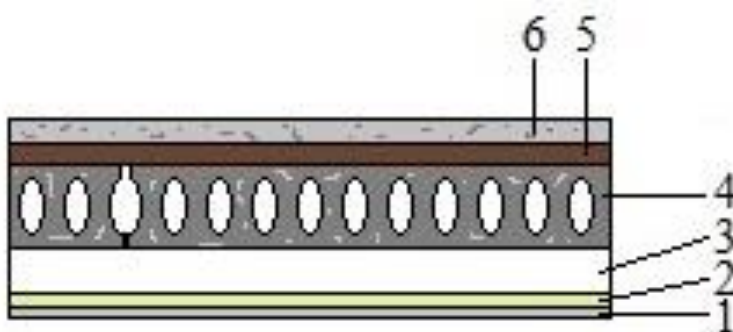


Figura 17 – Pavimento sobre painel alveolar

Novamente, esta solução de pavimento é idêntica às apresentadas anteriormente, sendo que a única diferença se encontra na camada de suporte. Esta camada de suporte é constituída por painéis alveolares (elementos pré-fabricados) de 20 cm de espessura. As restantes camadas são constituídas pelos mesmos componentes da solução anterior, incluindo as espessuras, e mantendo-se também a ordem.

3.2.3.4. Pavimento em estrutura de madeira

Este pavimento é constituído pelas seguintes camadas:

1. Revestimento inferior
2. Isolamento;

3. Suporte;
4. Revestimento superior.

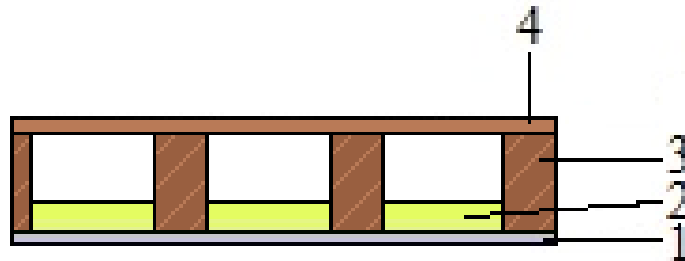


Figura 18 – Pavimento em estrutura de madeira

Ao contrário das soluções anteriormente apresentadas, esta é uma solução mais simples, não tão comum na construção nova, no entanto bastante utilizada em edifícios antigos reabilitados, pelo que, se considerou pertinente avaliar as diferenças de impacto entre soluções distintas. Esta solução é revestida inferiormente por placas de gesso cartonado com 1,25 cm de espessura, onde assenta o isolamento térmico em manta de lã de rocha, com espessura de 8 cm. O suporte é realizado numa estrutura descontínua de vigas de madeira, com dimensões 0,25x0,30m, sobre a qual se colocou uma camada de folha de espuma de polietileno, onde por fim assenta o revestimento de piso flutuante em madeira, com espessura de 1,8 cm.

3.3. MATERIAIS

Neste subcapítulo, serão apresentados, através de imagens ilustrativas, os materiais que serão alvo de análise de sustentabilidade, para, posteriormente, se proceder à sua comparação dentro de cada categoria. Sendo essas categorias:

- Isolamento térmico;
- Suporte de fachada;
- Revestimento de fachada;
- Revestimento de pavimento;
- Revestimento de cobertura.

3.3.1. ISOLAMENTO TÉRMICO

O Poliestireno Expandido – EPS – é uma espuma de poliestireno moldada, que pode ser encontrada em formas variadas.



Figura 19 - Placas de EPS [6]

A Lã de Rocha é constituída por fibras de rocha unidas com resina sintética. Para além das propriedades térmicas, também é utilizado como isolamento acústico.



Figura 20 – Manta de lã de rocha [7]

A Lã de Vidro é constituída por fibras de sílica e sódio aglomeradas com resina sintética. Para além das propriedades térmicas, também é utilizado como isolamento acústico.



Figura 21 – Manta de lã de vidro [8]

O isolamento em cortiça é um produto natural, constituído por aglomerado de cortiça expandida e pode funcionar como isolamento térmico e acústico.



Figura 22 – Placas de cortiça [9]

Poliuretano expandido rígido - PUR

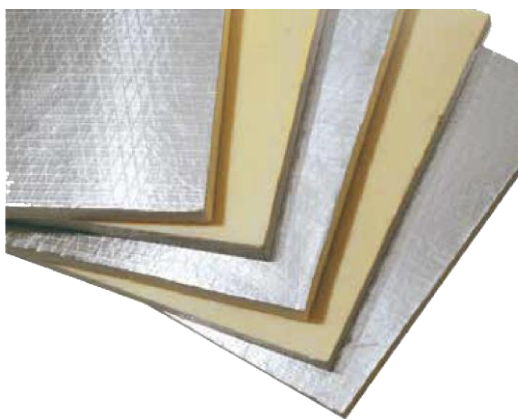


Figura 23 – Placas de PUR [10]

3.3.2. SUPORTES DE FACHADA

O tijolo cerâmico é um componente de alvenaria não resistente feito à base de argila, e que pode ser encontrado em diferentes formatos/dimensões.



Figura 24 – Tijolo cerâmico [11]

O bloco de betão leve (argila expandida), é um bloco de betão que utiliza agregados de argila expandida, e pode ser encontrado em diversos formatos/dimensões.



Figura 25 – Bloco de betão leve [12]

3.3.3. REVESTIMENTOS DE FACHADA

A placa de pedra pode possuir diversos acabamentos na superfície, e é comum ser usado em fachadas ventiladas e revestimento de pavimentos.



Figura 26 – Placas de pedra para fachada e pavimento [13]

As chapas de zinco, como o próprio nome indica, são chapas compostas por zinco, e com pouca espessura. Este tipo de material existe com secções de diferentes formatos e também é utilizado como revestimento de coberturas inclinadas.



Figura 27 – Chapas de zinco para fachada e coberturas [14]

Os painéis de aglomerado de madeira e cimento, como o próprio nome indica, são compostos por partículas de madeira e cimento compactadas em painéis.



Figura 28 – Painéis de aglomerado de madeira e cimento [15]

3.3.4. REVESTIMENTOS DE PAVIMENTO

A madeira, pode ter diferentes origens e ser encontrada em diversos formatos.



Figura 29 – Madeira para pavimento [16]

Cerâmico -



Figura 30 – Pavimento cerâmico [17]

Betão (leve) para revestimento de pavimento, que pode ser aplicado no interior e exterior.



Figura 31 – Pavimento em betão leve [18]

3.3.5. REVESTIMENTOS DE COBERTURA

A telha cerâmica é feita à base de argila. Este tipo de solução pode ser encontrado noutros formatos e cores.



Figura 32 – Telha cerâmica para cobertura [19]

4

CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES EM ESTUDO. INDICADORES

4.1. INTRODUÇÃO

Apesar de uma análise de sustentabilidade possuir 3 diferentes vertentes (ambiental, social e económica), esta dissertação incide quase exclusivamente sobre a vertente ambiental e económica.

Os valores das categorias de impacto ambiental de LCA para soluções construtivas, considerados no presente estudo, correspondem às fases de ciclo de vida Cradle-to-gate e Fim-de-vida (a fase de fim-de-vida corresponde à fase de deposição/tratamento dos materiais, que constituem as soluções, no final da vida do sistema construtivo).

Tendo isto em consideração, iniciar-se-á este capítulo com a apresentação dos valores das categorias de impacto ambiental de LCA, sendo os valores, como foi referido anteriormente nesta dissertação, retirados da Base de dados de LCA de [R. Mateus e L Bragança]

Para cada tipo de solução construtiva serão apresentadas 3 tabelas, sendo a primeira referente à fase Cradle-to-gate, ou seja, todos os processos, desde a extração de matérias-primas até à porta da fábrica, a segunda à fase de Fim-de-vida, que corresponde à fase de desconstrução/demolição e transporte para local de tratamento de resíduos, e a terceira o somatório das duas anteriores. E os valores de cada categoria de impacto ambiental de LCA corresponde à construção de 1m² de solução construtiva.

Para cada tipo de material de construção será apresentada apenas a tabela respeitante à fase Cradle-to-gate. E os valores de cada categoria de impacto ambiental de LCA corresponde à produção de 1kg de material.

No que diz respeito às categorias de energia incorporada, é preciso ter em consideração que um menor valor de ENR pode significar que se optou por fontes de energia renováveis em detrimento das não renováveis, o que leva a um valor mais elevado de ER. Ou seja, a leitura dos valores respeitantes à Energia Incorporada não é linear, isto é, possuir um maior valor de ER não é pejorativo em todos os casos, pelo que é necessário analisar o consumo de energia através das duas categorias (ENR e ER) como um só.

Em seguida é apresentada uma legenda para auxiliar a leitura das tabelas de categorias de impacto ambiental de LCA.

Tabela 4.1- Unidades dos indicadores de impacto ambiental

Categoria	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Unidade	Kg Sb eq	Kg CO ₂ eq	Kg CFC-11 eq	Kg SO ₂ eq	Kg C ₂ H ₄ eq	Kg PO ₄ eq	MJ eq	MJ eq

Neste capítulo serão apresentados também os valores referentes à análise económica, e à análise funcional.

4.2. INDICADORES AMBIENTAIS

4.2.1. FACHADAS

Seguindo a ordem do capítulo anterior, começaremos a apresentação dos resultados das soluções construtivas de fachada.

Tabela 4.2- Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase Cradle-to-gate [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Tipo de Fachada			
		ETICS	Dupla nº1	Dupla nº2	Ventilada
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	3,11E-01	3,70E-01	5,66E-01	3,04E-01
	GWP	6,11E+01	9,53E+01	1,22E+02	6,10E+01
	ODP	3,40E-06	1,02E-04	2,04E-04	2,00E-04
	AP	1,42E-01	1,91E-01	2,70E-01	1,66E-01
	POCP	1,94E-02	1,13E-02	1,80E-02	1,31E-02
	EP	1,74E-02	2,54E-02	3,37E-02	1,84E-02
Energia incorporada	ENR	7,12E+02	8,68E+02	1,28E+03	6,81E+02
	ER	6,24E+01	1,01E+02	1,28E+02	7,77E+01

Analisando a tabela 4.2, verifica-se que a solução de fachada Dupla nº2 é a que apresenta valores mais elevados em todas as categorias, com exceção da POCP, em que o maior valor se encontra na solução ETICS.

Tabela 4.3- Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase fim de vida [4]

Fase de ciclo de vida: Fim de vida		Tipo de Fachada			
		ETICS	Dupla 1	Dupla 2	Ventilada
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,27E-01	2,08E-01	2,67E-01	1,17E-01
	GWP	1,88E+01	3,17E+01	4,00E+01	1,73E+01
	ODP	3,05E-06	5,00E-06	7,00E-06	3,00E-06
	AP	8,70E-02	1,42E-01	1,83E-01	8,10E-02
	POCP	3,40E-03	5,40E-03	6,90E-03	3,10E-03
	EP	1,80E-02	2,95E-02	3,77E-02	1,68E-02
Energia incorporada	ENR	2,92E+02	4,75E+02	6,07E+02	2,71E+02
	ER	1,68E+00	2,83E+00	4,17E+00	1,58E+00

Quanto à análise das categorias em fase de Fim de vida, está é bastante mais simples pois, tanto os valores mais elevados como os menores estão atribuídos a uma só solução. Sendo a solução Dupla nº2 a que possui os mais elevados e a Ventilada os menores valores.

Para realizar uma comparação mais apurada de entre as soluções construtivas de fachada, irá ser utilizada esta última tabela que corresponde à soma dos valores das tabelas 4.2 e 4.3 anteriormente apresentadas.

Tabela 4.4-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução (soma das duas fases)
[4]

Fase de ciclo de vida: Total		Tipo de Fachada			
		ETICS	Dupla 1	Dupla 2	Ventilada
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	4,38E-01	5,78E-01	8,33E-01	4,21E-01
	GWP	7,99E+01	1,27E+02	1,62E+02	7,83E+01
	ODP	6,45E-06	1,07E-04	2,11E-04	2,03E-04
	AP	2,29E-01	3,33E-01	4,53E-01	2,47E-01
	POCP	2,28E-02	1,67E-02	2,49E-02	1,62E-02
	EP	3,54E-02	5,49E-02	7,14E-02	3,52E-02
Energia incorporada	ENR	1,00E+03	1,34E+03	1,89E+03	9,52E+02
	ER	6,41E+01	1,04E+02	1,32E+02	7,93E+01

Verifica-se, sem alguma dúvida, que a solução com maiores valores, isto é, aquela que exibe maiores valores, em todas as categorias de impacte ambiental de LCA, foi a solução de fachada dupla nº2.

4.2.2. PAVIMENTOS

A apresentação dos valores de categorias de impacte ambiental das diferentes soluções de pavimento será realizada do mesmo modo que foi realizada para as soluções de fachada.

Tabela 4.5-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase Cradle-to-gate
[4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Tipo de Pavimento			
		Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	4,10E-01	4,15E-01	3,40E-01	8,40E-02
	GWP	7,37E+01	8,38E+01	6,60E+01	-4,56E-01
	ODP	4,75E-06	4,45E-06	3,84E-06	9,56E-07
	AP	2,64E-01	2,77E-01	2,37E-01	5,47E-02
	POCP	1,75E-02	1,89E-02	1,51E-02	4,07E-03
	EP	3,22E-02	3,66E-02	2,94E-02	7,84E-03
Energia incorporada	ENR	8,94E+02	8,93E+02	7,44E+02	1,97E+02
	ER	1,87E+02	1,71E+02	1,68E+02	6,66E+02

Relativamente à fase de ciclo de vida Cradle-to-gate, verifica-se, de imediato, que a solução de pavimento nº4, que diz respeito à estrutura descontínua em madeira, é aquela que apresenta menores valores nas categorias de impacte ambiental de LCA e também no total de Energia Incorporada, denotando um valor bastante mais elevado de ER. No entanto, apesar de ser comum revestimento de

pavimento em madeira, o tipo de solução com estrutura em madeira não é comum em construção nova, sendo as soluções mais utilizadas aquelas à base de estrutura em betão armado, como servem de exemplo as restantes soluções de pavimento em análise.

Dito isto, analisando as restantes soluções, verifica-se, que na fase de ciclo de vida Cradle-to-gate, a que apresenta menores valores em todas as categorias é a solução de pavimento nº3, com estrutura de suporte em painéis alveolares (pré-fabricação).

Tabela 4.6-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase fim de vida [4]

Fase de ciclo de vida: Fim de vida		Tipo de Pavimento			
		Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	2,22E-01	2,99E-01	2,36E-01	2,40E-02
	GWP	3,23E+01	4,32E+01	3,40E+01	5,74E+01
	ODP	5,25E-06	6,95E-06	5,50E-06	5,54E-07
	AP	1,54E-01	2,07E-01	1,63E-01	7,24E-01
	POCP	5,80E-03	7,70E-03	6,00E-03	8,90E-04
	EP	3,19E-02	4,29E-02	3,38E-02	1,37E-02
Energia incorporada	ENR	5,16E+02	6,86E+02	5,40E+02	5,57E+01
	ER	2,55E+00	3,59E+00	3,82E+00	3,20E-01

Na fase Fim de vida, a situação é semelhante, sendo a solução de pavimento nº4 aquela que apresenta menores valores em todas as categorias com exceção do GWP e AP.

Tabela 4.7-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução (soma das duas fases) [4]

Fase de ciclo de vida: Total		Tipo de Pavimento			
		Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	6,32E-01	7,14E-01	5,76E-01	1,08E-01
	GWP	1,06E+02	1,27E+02	1,00E+02	5,69E+01
	ODP	1,00E-05	1,14E-05	9,34E-06	1,51E-06
	AP	4,18E-01	4,84E-01	4,00E-01	7,79E-01
	POCP	2,33E-02	2,66E-02	2,11E-02	4,96E-03
	EP	6,41E-02	7,95E-02	6,32E-02	2,15E-02
Energia incorporada	ENR	1,41E+03	1,58E+03	1,28E+03	2,53E+02
	ER	1,90E+02	1,75E+02	1,72E+02	6,66E+02

Passando para a análise agregada das tabelas 4.5 e 4.6, à qual corresponde a tabela 4.7, a solução de pavimento nº4 só não exibe menor valor para a categoria AP e ER, contudo, o consumo de energia total continua a ser inferior ao das outras soluções.

4.2.3. COBERTURAS

De entre as 6 soluções de coberturas a ser avaliadas, as 4 primeiras correspondem as coberturas planas, e as restantes duas a coberturas inclinadas.

Tabela 4.8-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase Cradle-to-gate [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Tipo de Cobertura					
		Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	8,41E-01	1,01E+00	8,67E-01	7,26E-01	1,12E-01	5,19E-01
	GWP	1,62E+02	1,98E+02	1,76E+02	1,26E+02	-4,59E+00	7,63E+01
	ODP	9,73E-06	1,21E-05	1,25E-05	8,11E-06	2,12E-06	5,05E-06
	AP	7,29E-01	8,17E-01	7,32E-01	5,01E-01	5,94E-02	2,71E-01
	POCP	4,39E-02	4,77E-02	3,63E-02	3,51E-02	3,80E-03	2,66E-02
	EP	7,74E-02	8,75E-02	6,64E-02	6,39E-02	6,81E-03	5,04E-02
Energia incorporada	ENR	1,61E+03	1,93E+03	1,74E+03	1,37E+03	2,24E+02	9,07E+02
	ER	2,29E+01	4,35E+01	5,56E+01	2,07E+01	2,90E+00	1,22E+01

Analisando o conjunto das 6 soluções na fase Cradle-to-gate, percebe-se que as duas soluções de cobertura inclinada são as que apresentam menores valores, sendo a cobertura nº5, de estrutura em madeira, aquela com valores mais baixos. Olhando agora para as coberturas planas, verifica-se que a solução com valores inferiores, em todas as categorias, é a cobertura nº4 que corresponde à cobertura invertida com o revestimento exterior em terra vegetal (cobertura ajardinada). Ao mesmo tempo constata-se que a solução de cobertura nº2, que é respeitante a uma cobertura plana tradicional com estrutura de suporte em laje maciça de B.A. e revestimento exterior em mosaico cerâmico, exibe os valores mais elevados em todas as categorias, incluindo (ENR+ER), com exceção do ODP, em que o valor mais elevado corresponde à solução de cobertura nº3.

Tabela 4.9-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução na fase fim de vida [4]

Fase de ciclo de vida: Fim de vida		Tipo de Cobertura					
		Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	-2,47E-01	-2,32E-01	-6,67E-02	-2,52E-01	4,28E-03	-2,67E-01
	GWP	-1,64E+01	-1,70E+01	-3,23E+00	-1,72E+01	5,89E-01	-1,92E+01
	ODP	4,19E-07	2,91E-07	6,44E-07	2,65E-07	1,27E-07	-1,75E-07
	AP	-7,92E-02	-8,27E-02	-1,29E-02	-8,34E-02	3,50E-03	-9,56E-02
	POCP	-1,87E-02	-1,88E-02	-5,87E-03	-1,89E-02	1,15E-04	-1,93E-02
	EP	-1,04E-02	-1,11E-02	-7,40E-04	-1,13E-02	7,02E-04	-1,37E-02
Energia incorporada	ENR	-3,47E+02	-3,56E+02	-8,01E+01	-3,58E+02	9,37E+00	-3,90E+02
	ER	-1,15E+00	-1,17E+00	-3,40E-01	-1,17E+00	1,32E-02	-1,23E+00

Analisando a tabela 4.9, constata-se que a maioria dos valores presentes possuem sinal negativo. Isto deve-se ao facto de nesta fase ser considerada a reciclagem ou reutilização de parte dos materiais, o que contribui positivamente para a redução dos impactes ambientais associados.

Examinando, só as coberturas planas, a que apresenta menores valores é a cobertura nº4 (cobertura ajardinada).

Tabela 4.10-Valores de impactes ambientais associados à construção de 1m² de solução (soma das duas fases)
[4]

Fase de ciclo de vida: Total		Tipo de Cobertura					
		Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	5,94E-01	7,78E-01	8,00E-01	4,74E-01	1,16E-01	2,52E-01
	GWP	1,46E+02	1,81E+02	1,73E+02	1,09E+02	-4,00E+00	5,71E+01
	ODP	1,01E-05	1,24E-05	1,31E-05	8,38E-06	2,25E-06	4,88E-06
	AP	6,50E-01	7,34E-01	7,19E-01	4,18E-01	6,29E-02	1,75E-01
	POCP	2,52E-02	2,89E-02	3,04E-02	1,62E-02	3,92E-03	7,30E-03
	EP	6,70E-02	7,64E-02	6,57E-02	5,26E-02	7,51E-03	3,67E-02
Energia incorporada	ENR	1,26E+03	1,57E+03	1,66E+03	1,01E+03	2,33E+02	5,17E+02
	ER	2,18E+01	4,23E+01	5,53E+01	1,95E+01	2,91E+00	1,10E+01

Na tabela 4.10, a solução de cobertura nº5 é a que apresenta menores valores em todas as categorias de impacto ambiental.

4.2.4. MATERIAIS

Na análise dos impactes de materiais só será analisada a fase de ciclo de vida Cradle-to-gate. Serão analisados os materiais pelas categorias que foram apresentados no capítulo anterior e pela mesma ordem:

- Isolamentos térmicos;
- Alvenaria;
- Revestimento de fachada;
- Revestimento de pavimento;
- Revestimento de cobertura.

Nota: Quando, neste trabalho, é referido “tijolo cerâmico”, corresponde a tijolo cerâmico furado.

4.2.4.1. Isolamento térmico

Tabela 4.11- Valores de impactes associados à produção de 1 kg de material [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material: Isolamento				
		Cortiça	Lã de rocha	Lã de vidro	PUR	EPS
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,04E-02	1,05E-02	1,43E-02	4,31E-02	4,63E-02
	GWP	-6,54E-01	1,46E+00	1,50E+00	4,26E+00	4,14E+00
	ODP	9,26E-08	6,10E-08	2,15E-07	1,89E-08	1,10E-07
	AP	5,39E-03	8,32E-03	6,42E-03	1,77E-02	1,49E-02
	POCP	4,55E-04	9,28E-04	5,57E-04	2,05E-03	6,75E-03
	EP	6,58E-04	4,46E-04	1,18E-03	2,75E-03	1,24E-03
Energia incorporada	ENR	2,51E+01	2,16E+01	4,50E+01	1,00E+02	1,05E+02
	ER	2,72E+01	9,79E-01	4,14E+00	2,57E+00	1,01E+00

Examinando a tabela dos impactes associados à produção de 1kg de material de isolamento térmico, destaca-se a cortiça com valores menores nas categorias ADP, GWP, AP e POCP, em seguida a lã de rocha com valores inferiores nas categorias EP, ENR e ER, e por fim a solução de PUR na categoria ODP. No entanto, não é correto analisar os isolamentos térmicos através dos impactes associados a 1kg de produção de material, pois cada um deles possui características diferentes, tais como o coeficiente de resistência térmica, R, e o peso volúmico, γ .

Visto o objetivo da aplicação de uma camada de isolamento térmico ser garantir o conforto térmico, é necessário avaliar as diferentes soluções de isolamento térmico quando sujeitas ao mesmo cenário. Por isso, decidiu-se que iria ser avaliado 1m² de área de material que satisfizesse um coeficiente de resistência térmica, $R=1.00 \text{ m}^2\text{k/W}$, de forma a definir qual a espessura, “e”, necessária para garantir esse R, e, por conseguinte, qual o peso associado a essa espessura para 1m². Os valores de espessura que garantem um $R=1.00 \text{ m}^2\text{k/W}$ foram retirados de [20], [21], [22], [23] e [24].

$$\text{Seja } V_1=1 \times 1 \times e \quad (4)$$

$$P_1=V_1 \times \gamma \quad (5)$$

Construiu-se a seguinte tabela auxiliar para cálculo de P_1 .

Tabela 4.12-Tabela auxiliar para cálculo de P_1 [25]

Material	R (m ² .k/W)	Espessura (mm)	V1 (m ³)	Peso Volúmico (Kg/m ³)	P1 (Kg)
EPS	1,00	36	0,036	24	0,864
Lã de rocha		38	0,038	100	3,8
Lã de vidro		40	0,04	20	0,8
Cortiça		40	0,04	75	3
PUR		25	0,025	40	1

Multiplicando o valor de P_1 de cada material, pelos valores correspondentes na tabela que está associada à produção de 1kg de material, obtém-se a seguinte tabela.

Tabela 4.13-Impactes associados à produção de P1 de cada material

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material				
		Cortiça	Lã de rocha	Lã de vidro	PUR	EPS
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	3,12E-02	3,99E-02	1,14E-02	4,31E-02	4,00E-02
	GWP	-1,96E+00	5,55E+00	1,20E+00	4,26E+00	3,58E+00
	ODP	2,78E-07	2,32E-07	1,72E-07	1,89E-08	9,50E-08
	AP	1,62E-02	3,16E-02	5,14E-03	1,77E-02	1,29E-02
	POCP	1,37E-03	3,53E-03	4,46E-04	2,05E-03	5,83E-03
	EP	1,97E-03	1,69E-03	9,44E-04	2,75E-03	1,07E-03
Energia incorporada	ENR	7,53E+01	8,21E+01	3,60E+01	1,00E+02	9,07E+01
	ER	8,16E+01	3,72E+00	3,31E+00	2,57E+00	8,73E-01

Na tabela 4.13, verifica-se que o material que exibe menores valores na maioria das categorias de impacto ambiental de LCA é a lã de vidro, com exceção do menor valor de GWP que pertence à cortiça e o menor valor de ODP que pertence à PUR. Quanto à energia incorporada, apesar do valor de ER da lã de vidro não ser o menor, o valor de ENR e de ENR+ER é o menor, o que significa que escolheu aumentar o consumo de ER em detrimento de ENR.

4.2.4.2. Alvenaria

Mais uma vez iniciar-se-á a análise pela tabela de impactes associada à produção de 1kg de material. Sendo que os materiais a analisar serão:

- Bloco de betão;
- Tijolo cerâmico.

Tabela 4.14-Valores de impactes associados à produção de 1 kg de material [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material	
		Bloco de betão	Tijolo cerâmico
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,40E-03	1,18E-03
	GWP	4,15E-01	2,20E-01
	ODP	2,18E-08	1,58E-08
	AP	6,69E-04	5,84E-04
	POCP	4,29E-05	4,00E-05
	EP	8,47E-05	6,71E-05
Energia incorporada	ENR	3,25E+00	2,58E+00
	ER	2,03E-01	2,55E-01

Novamente, é necessário utilizar um critério que permita realizar uma análise mais equilibrada pois, 1kg de bloco de betão não concretiza os mesmos m2 de parede que 1kg de tijolo cerâmico.

Dito isto, irão ser avaliados os impactes associados à construção de 1m² de parede com as seguintes espessuras para cada um dos materiais:

- Bloco de betão, e=20 cm;
- Tijolo cerâmico, e=22 cm, e=15 cm, e=11 cm.

Para se proceder à análise irá ser calculado o peso, P₂, que corresponde a 1m² de parede com a espessura definida anteriormente.

$$\text{Seja } V_2 = 1 \times 1 \times e, \quad (6)$$

$$P_2 = V_2 \times \gamma \quad (7)$$

Seja o peso do bloco de betão, com e=20 cm, 300 kg/m² de parede. [25]

E seja o peso do tijolo cerâmico, com e=22 cm, 250 kg/m² de parede, com e=15 cm, 210 kg/m² de parede e com e=11 cm, 180 kg/m² de parede. [25]

Tem-se então a seguinte tabela, a qual corresponde aos impactes ambientais associados à construção de 1m² de parede.

Tabela 4.15-Impactes associados à produção de P₂ de cada material

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material		
		Bloco de betão 20	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 15+11
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	4,20E-01	2,95E-01	4,60E-01
	GWP	1,25E+02	5,50E+01	8,58E+01
	ODP	6,54E-06	3,95E-06	6,16E-06
	AP	2,01E-01	1,46E-01	2,28E-01
	POCP	1,29E-02	1,00E-02	1,56E-02
	EP	2,54E-02	1,68E-02	2,62E-02
Energia incorporada	ENR	9,75E+02	6,45E+02	1,01E+03
	ER	6,09E+01	6,38E+01	9,95E+01

Se examinarmos todas as 3 soluções, verifica-se que a solução de tijolo cerâmico com e=22cm, é a que apresenta menores valores em todas as categorias inclusive o conjunto ENR+ER.

4.2.4.3. Revestimento de fachada

Novamente será apresentada a tabela de impactes associada à produção de 1kg de material, e em seguida será feita a análise comparativa dos impactes ambientais associados a 1m² de solução.

É importante, antes de iniciar a análise, salientar que diferentes tipos de revestimento, pressupõe diferentes tipos de suporte, e que nesta análise irão ser apenas estudadas as diferentes soluções de revestimento de fachada.

Tabela 4.16-Valores de impactes associados à produção de 1 kg de material [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material		
		Chapa de zinco	Pedra calcária	Aglomerado de madeira e cimento
Categorias de impacte ambiental de LCA	ADP	1,75E-02	1,24E-05	5,21E-04
	GWP	2,46E+00	1,92E-03	-3,27E-02
	ODP	1,37E-07	2,26E-10	5,97E-09
	AP	4,02E-02	3,37E-05	3,10E-04
	POCP	1,44E-03	5,38E-07	1,40E-05
	EP	2,41E-03	7,79E-06	4,33E-05
Energia incorporada	ENR	2,84E+01	2,80E-02	1,21E+00
	ER	5,60E-01	4,05E-04	2,08E+00

Ao analisar a tabela associada à produção de 1kg de material, verifica-se que a solução de revestimento exterior de fachada em pedra calcária, apresenta valores inferiores em todas as categorias exceto no GWP, que o menor valor pertence ao aglomerado de madeira e cimento.

Porém, como já foi explicado, para 1m² de fachada revestida, o peso de cada material será diferente, pelo que os impactes também o serão. Utilizando o mesmo método que foi aplicado para as outras categorias de materiais.

$$\text{Seja } V_3 = 1 \times 1 \times e, \quad (8)$$

$$P_3 = V_3 \cdot \gamma \quad (9)$$

temos a tabela 4.17.

Tabela 4.17-Tabela auxiliar para cálculo de P3 [25]

Material	Espessura (cm)	V ₃ (m ³)	Peso Volúmico (Kg/m ³)	P ₃ (Kg)
Chapa de zinco	0,1	0,001	7200	7,2
Pedra calcária	3	0,03	1800	54
Aglomerado de madeira e cimento	3	0,03	320	9,6

Através da multiplicação de P3, de cada material, e da tabela dos valores da tabela 4.16, construiu-se a tabela 4.18.

Tabela 4.18-Impactes associados à produção de P3 de cada material

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material		
		Chapa de zinco	Pedra calcária	Aglomerado de madeira e cimento
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,26E-01	6,70E-04	5,00E-03
	GWP	1,77E+01	1,04E-01	-3,14E-01
	ODP	9,86E-07	1,22E-08	5,73E-08
	AP	2,89E-01	1,82E-03	2,98E-03
	POCP	1,04E-02	2,91E-05	1,34E-04
	EP	1,74E-02	4,21E-04	4,16E-04
Energia incorporada	ENR	2,04E+02	1,51E+00	1,16E+01
	ER	4,03E+00	2,19E-02	2,00E+01

Examinando a tabela 4.18, de impactes associados à produção de 1m² de revestimento de fachada, a solução em pedra calcária só não exibe valores inferiores nas categorias GWP e EP, sendo que esses valores correspondem ao aglomerado de madeira e cimento.

Nota: Pedra calcária pode não corresponder a placas de pedra calcária, pelo que os impactes ambientais poderão diferenciar dos exibidos.

4.2.4.4. Revestimentos de pavimento

É importante, antes de iniciar a análise, salientar que diferentes tipos de revestimento, pressupõe diferentes tipos de suporte e camadas inferiores, e que nesta análise irão ser apenas estudadas as diferentes soluções de revestimento de pavimento.

Esta primeira tabela (tabela 4.19) diz respeito aos impactes associados à produção de 1kg de material.

Tabela 4.19-Valores de impactes associados à produção de 1 kg de material [25]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material			
		Madeira serrada	Mosaico/azulejo cerâmico	Placa de pedra	Betão
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,02E-03	6,30E-03	2,99E-03	2,38E-04
	GWP	-1,20E+00	7,62E-01	4,35E-01	1,10E-01
	ODP	1,28E-08	8,16E-08	5,53E-08	3,55E-09
	AP	8,05E-04	2,93E-03	2,56E-03	1,79E-04
	POCP	7,29E-05	1,36E-04	7,85E-05	6,49E-06
	EP	1,29E-04	2,75E-04	5,07E-04	2,84E-05
Energia incorporada	ENR	1,98E+00	1,19E+01	1,36E+01	5,56E-01
	ER	1,58E+01	3,64E-01	1,61E+00	6,24E-03

Analisando os valores desta primeira tabela verifica-se que a solução de revestimento que comporta menores impactes para o ambiente é a de betão, em todas as categorias de impacto ambiental exceto a categoria GWP.

Contudo, será necessário assumir um cenário de forma a ser efetuada uma avaliação mais equilibrada. Considera-se então, 1m² de solução com as seguintes características:

Tabela 4.20-Tabela auxiliar para cálculo de P4 [25]

Material	Espessura (cm)	V4 (m ³)	Peso Volúmico (Kg/m ³)	P4 (Kg)
madeira serrada (carvalho)	2	0,02	600	12
mosaico	1,5	0,015	1800	27
placa de pedra	3	0,03	2600	78
betão	6	0,06	2400	144

$$\text{em que } V4 = 1 \times 1 \times e \quad (10)$$

$$P4 = V4 * \gamma \quad (11)$$

Através dos valores de P4 obtidos, em conjunto com os valores da tabela 4.19, obteve-se a tabela 4.21.

Tabela 4.21-Impactes associados à produção de P4 de cada material

Fase de ciclo de vida:		Material			
Cradle-to-gate		Madeira serrada	Mosaico/azulejo cerâmico	Placa de pedra	Betão
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,22E-02	1,70E-01	2,33E-01	3,43E-02
	GWP	-1,44E+01	2,06E+01	3,39E+01	1,58E+01
	ODP	1,54E-07	2,20E-06	4,31E-06	5,11E-07
	AP	9,66E-03	7,91E-02	2,00E-01	2,58E-02
	POCP	8,75E-04	3,67E-03	6,12E-03	9,35E-04
	EP	1,55E-03	7,43E-03	3,95E-02	4,09E-03
Energia incorporada	ENR	2,38E+01	3,21E+02	1,06E+03	8,01E+01
	ER	1,90E+02	9,83E+00	1,26E+02	8,99E-01

Na tabela 4.21 constata-se que a solução de madeira serrada é a que apresenta menores valores em todas as categorias.

4.2.4.5. Revestimentos de cobertura

Neste subcapítulo só serão analisadas duas soluções de revestimento exterior para coberturas inclinadas.

A tabela 4.22 diz respeito aos impactes associados à produção de 1kg de material.

Tabela 4.22-Valores de impactes associados à produção de 1 kg de material [4]

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material	
		Chapa de zinco	Telha cerâmica
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,75E+00	6,58E-03
	GWP	2,46E+00	8,16E-01
	ODP	1,37E-07	8,41E-08
	AP	4,02E-02	2,90E-03
	POCP	1,44E-03	1,55E-04
	EP	2,41E-03	2,85E-04
Energia incorporada	ENR	2,84E+01	1,46E+01
	ER	5,60E-01	7,41E-01

Nesta primeira tabela a solução de telha cerâmica apresenta os menores valores em todas as categorias de impacto ambiental de LCA.

Assumindo 1m² de solução, construiu-se a seguinte tabela de forma a calcular o peso, P₅, que corresponde ao peso de solução por m² (kg/m²).

$$\text{em que } V_5 = 1 \times 1 \times e \quad (12)$$

$$P_5 = V_5 \times \gamma \quad (13)$$

Tabela 4.23 – Tabela auxiliar para cálculo de P₅ [25]

Material	Espessura (cm)	V ₅ (m ³)	Peso Volúmico (Kg/m ³)	P ₅ (Kg)
chapa de zinco	0,1	0,001	7200	7,2
telha cerâmica	3	0,03	1600	48

Com a conjugação do valor de P₅ e da tabela 4.22, obtêm-se os seguintes valores para as categorias de impacto ambiental de LCA, associados à execução de 1m² de revestimento, com as características apresentadas na tabela 4.23.

Tabela 4.24 – Impactes associados à produção de P₅ de cada material

Fase de ciclo de vida: Cradle-to-gate		Material	
		Chapa de zinco	Telha cerâmica
Categorias de impacto ambiental de LCA	ADP	1,26E+01	3,16E-01
	GWP	1,77E+01	3,92E+01
	ODP	9,86E-07	4,04E-06
	AP	2,89E-01	1,39E-01
	POCP	1,04E-02	7,44E-03
	EP	1,74E-02	1,37E-02
Energia incorporada	ENR	2,04E+02	7,01E+02
	ER	4,03E+00	3,56E+01

Na tabela 4.24 o panorama é diferente do da tabela de valores associados a 1 kg de material.

É essencial ter em consideração que esta análise não compreende os materiais necessários para fixação e suporte destes revestimentos, nem quaisquer exigências funcionais, pelo que caso essas variáveis sejam incluídas, o resultado poderá variar.

4.3. INDICADORES ECONÓMICOS

Neste subcapítulo serão apresentados os custos associados à execução de 1m² de solução construtiva bem como os custos de manutenção decenal nos primeiros 10 anos para 1m² de solução, sendo que os custos apresentados para cada componente incluem o valor dos materiais, equipamentos e mão de obra. Os valores apresentados serão utilizados no próximo capítulo de maneira, a se classificar as diferentes soluções construtivas.

Uma vez que os custos associados, ao mesmo material para soluções construtivas distintas, diferem, serão apresentados os valores da aplicação dos materiais dentro de cada tipo de solução construtiva. Serão apresentadas também diferentes opções de materiais com a mesma finalidade, diferentes dos utilizados.

4.3.1. FACHADAS

Irão ser apresentadas as tabelas das diferentes soluções de fachadas e dos materiais associados às diferentes soluções. Quanto ao valor dos materiais, estes já incluem produtos e/ou componentes necessários à sua aplicação.

Será também utilizada a mesma ordem que foi utilizada anteriormente.

As tabelas 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28 correspondem à solução de fachada simples com isolamento pelo exterior – **ETICS**.

Tabela 4.25 – Custos associados a um sistema de fachada ETICS [26], [27], [28]

Tipo: ETICS	
Elemento	Valor (€/m ²)
Reboco int. (2 cm)	19,16
Alvenaria: tijolo cerâmico (22cm)	23,48
Isolamento: EPS (60 mm)	66,06
Total	108,7
Manutenção	9,13

Tabela 4.26 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada ETICS [27]

Alvenaria	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Tijolo cerâmico (22 cm)	23,48	0,7
Tijolo cerâmico (15 cm)	17,92	0,54
Bloco de betão (20 cm)	26,79	0,8

O valor dos sistemas de isolamento na tabela 4.27 inclui o valor da argamassa armada.

Tabela 4.27 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada ETICS [28]

Isolamento	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
EPS (60 mm)	66,06	7,32
Lã de rocha (60 mm)	81,11	8,99

Tabela 4.28 – Custo de reboco de um sistema de fachada ETICS [26]

Reboco	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Reboco int. (2 cm)	19,16	1,11

As tabelas 4.29 e 4.30 correspondem às soluções de **fachada dupla**, em estudo nesta dissertação, e as tabelas 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 e 4.35 aos seus diferentes componentes.

Tabela 4.29 – Custos associados a um sistema de fachada dupla (nº1) [30], [31], [32], [33], [34]

Tipo: Parede dupla nº1	
Elemento	Valor (€/m ²)
Alvenaria int.: tijolo cerâmico (11 cm)	14,49
Alvenaria ext.: tijolo cerâmico (15 cm)	20,28
Isolamento: EPS (20mm)	2,25
Reboco int. (1,5 cm)	16,8
Reboco ext. (1,5 cm)	18,54
Total	73,02
Manutenção	4,03

Tabela 4.30 – Custos associados a um sistema de fachada dupla (nº2) [30], [31], [32], [35]

Tipo: Parede dupla nº2	
Elemento	Valor (€/m ²)
Alvenaria int.: tijolo cerâmico (11 cm)	14,49
Alvenaria ext.: tijolo cerâmico maciço (11 cm)	65,64
Isolamento: EPS (40mm)	3,59
Reboco int. (2 cm)	19,16
Total	102,88
Manutenção	4,97

Tabela 4.31 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada dupla (pano interior) [31]

Alvenaria interior	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Tijolo cerâmico (22 cm)	22,6	1,81
Tijolo cerâmico (15 cm)	17,14	1,37
Tijolo cerâmico (11 cm)	14,49	1,16
Bloco de betão (20 cm)	20,55	1,64

Tabela 4.32 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada dupla (pano exterior) [33], [35]

Alvenaria exterior	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Tijolo cerâmico (15 cm)	20,28	1,01
Bloco de betão (10 cm)	19,27	0,96
Tijolo cerâmico maciço (11 cm)	65,64	2,63

A tabela 4.33 corresponde a isolamento térmico colocado na face exterior do pano interior.

Tabela 4.33 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada dupla (pano interior) [32]

Isolamento pano int.	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
EPS (40 mm)	3,59	0,07
EPS (30 mm)	2,91	0,06
Lã de rocha (40 mm)	13,38	0,23

A tabela 4.34 corresponde a isolamento térmico colocado na face interior do pano exterior.

Tabela 4.34 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada dupla (pano exterior) [36]

Isolamento pano ext.	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
EPS (40 mm)	5,47	0,11
Lã de rocha (50 mm)	8,24	0,16
PUR projetado (40 mm)	10,25	0,21

Tabela 4.35 – Custo de reboco de um sistema de fachada dupla [30] [34]

Reboco	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Reboco interior (1,5 cm)	16,8	0,82
Reboco exterior (1,5 cm)	18,54	0,98
Reboco interior (2 cm)	19,16	1,11

As tabelas 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 e 4.40 correspondem à solução de **fachada ventilada**, e seus diferentes componentes.

Tabela 4.36 – Custos associados a um sistema de fachada ventilada [26], [37], [39], [40]

Tipo: Ventilada	
Elemento	Valor (€/m ²)
Reboco interior (2 cm)	19,16
Alvenaria: tijolo cerâmico (22 cm)	23,62
Isolamento: lã de rocha (40mm)	11,38
Aglomerado de madeira e cimento (1,2 cm)	71,91
Total	126,07
Manutenção	10,11

Tabela 4.37 – Custo de alvenaria de um sistema de fachada ventilada [37]

Alvenaria	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²) ³⁷
Tijolo cerâmico (22 cm)	23,62	0,71
Tijolo cerâmico (15 cm)	18,05	0,54
Bloco de betão (20 cm)	27,65	0,81

Devido a exigências de reação ao fogo, só é possível aplicar isolamento em lã mineral. [38]

Tabela 4.38 – Custo de isolamento térmico de um sistema de fachada ventilada [39]

Isolamento	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Lã de rocha (40 mm)	11,38	0,23

Tabela 4.39 – Custo de reboco de um sistema de fachada [26]

Reboco	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Reboco interior (2 cm)	19,16	1,11

Os valores exibidos na tabela 4.40, inclui o custo da subestrutura e sua aplicação.

Tabela 4.40 – Custo de revestimento exterior de um sistema de fachada [40]

Revestimento exterior	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Pedra natural (3 cm)	185,41	16,69
Aglomerado de madeira e cimento (1,2 cm)	71,91	8,06
Chapa de zinco (1 mm)	95,76	16,28

4.3.2. PAVIMENTOS

Serão apresentadas as tabelas das diferentes soluções construtivas de pavimentos e dos diferentes materiais associados. Nesta categoria de solução construtiva, os materiais têm o mesmo valor para as diferentes soluções.

Será também utilizada a mesma ordem que foi utilizada no capítulo anterior.

Os 3 primeiros pavimentos possuem características semelhantes. Sendo que só diferem no tipo de estrutura de suporte utilizado. O 4º pavimento corresponde à solução de estrutura em madeira, com revestimento de piso em tábua de madeira.

Tabela 4.41 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº1) [41], [42], [43], [44], [45]

Tipo: Pavimento nº1	
Elemento	Valor (€/m2)
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55
Lã de rocha (2,5 cm)	6,96
Dupla vigota (25 cm)	49,27
Folha de polietileno (0,3 cm)	20,1
Cortiça (4 cm)	17,08
Lajeta de Betão leve (2 cm)	32,25
Total	148,21
Manutenção	15,68

Tabela 4.42 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº2) [41], [42], [43], [44], [46]

Tipo: Pavimento nº2	
Elemento	Valor (€/m2)
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55
Lã de rocha (2,5 cm)	6,96
Laje maciça (20 cm)	72,28
Folha de polietileno (0,3 cm)	20,1
Cortiça (4 cm)	17,08
Lajeta de Betão leve (2 cm)	32,25
Total	171,22
Manutenção	15,84

Tabela 4.43 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº3) [41], [42], [43], [44], [47]

Tipo: Pavimento nº3	
Elemento	Valor (€/m2)
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55
Lã de rocha (2,5 cm)	6,96
Painéis alveolares (20 cm)	58,73
Folha de polietileno (0,3 cm)	20,1
Cortiça (4 cm)	17,08
Lajeta de Betão leve (2 cm)	32,25
Total	157,67
Manutenção	16,93

Tabela 4.44 – Custos associados a um sistema de pavimento (pav. nº4) [41], [48], [49], [50]

Tipo: Pavimento nº4	
Elemento	Valor (€/m2)
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55
Lã de rocha (8 cm)	11,64
Vigotas (0,25x0,30 m)	43,37
Piso em madeira (2,2 cm)	87,42
Total	164,98
Manutenção	35,54

Tabela 4.45 – Custo de componentes estruturais de um sistema de pavimento [45], [46], [47], [49]

Estrutura	Valor (€/m2)	Manutenção (€/m2)
Dupla vigota (25 cm)	49,27	3,45
Laje maciça (20 cm)	72,28	3,61
Painéis alveolares (20 cm)	58,73	4,7
Vigotas (0,25x0,30 m)	43,37	2,63

Tabela 4.46 – Custo de isolamento térmico de um sistema de pavimento []

Isolamento	Valor (€/m2)	Manutenção (€/m2)
Lã de rocha (2,5 cm)	6,96	0,14
Lã de rocha (8 cm)	11,64	0,23
Cortiça (4 cm)	17,08	0,44

Tabela 4.47 – Custo de revestimento de um sistema de pavimento []

Revestimento Superior	Valor (€/m2)	Manutenção (€/m2)
Lajeta de Betão leve (2 cm)	32,25	7,42
Piso em madeira (2,2 cm)	87,42	28,85
Placa de granito (3 cm)	78,63	7,08
Mosaico cerâmico	20,06	3,41

Tabela 4.48 – Custos de componentes de um sistema de pavimento [41]]

Outros componentes	Valor (€/m2)	Manutenção (€/m2)
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55	3,83
Folha de polietileno (0,3 cm)	20,1	0,4

4.3.3. COBERTURAS

Em seguida serão apresentadas as tabelas das diferentes soluções construtivas de coberturas e das diferentes opções de estruturas associados. Nesta categoria de solução construtiva, não serão apresentadas diferentes componentes para coberturas planas, para além das diferentes opções de

estrutura pois, na base de dados utilizada as diversas coberturas disponibilizadas são exibidas como um conjunto de camadas.

Será também utilizada a mesma ordem que foi utilizada no capítulo anterior.

As 4 primeiras soluções correspondem a coberturas planas. E as 2 últimas soluções correspondem a coberturas inclinadas.

Esta 1ª solução de cobertura corresponde a uma cobertura **plana tradicional**, não acessível, com camada de revestimento exterior em godo.

Tabela 4.49 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº1) [46], [51], [52]

Tipo: Cobertura nº1	
Elemento	Valor (€/m ²)
Reboco int. (2 cm)	18,31
Laje maciça (20 cm)	72,28
Componentes sobre estrutura	68,02
Total	158,61
Manutenção	21,57

A solução de cobertura apresentada na tabela 4.50 diz respeito a uma cobertura **plana tradicional**, acessível, para tráfego pedonal privado, com camada de revestimento exterior em mosaico cerâmico.

Tabela 4.50 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº2) [46], [51], [53]

Tipo: Cobertura nº2	
Elemento	Valor (€/m ²)
Reboco int. (2 cm)	18,31
Laje maciça (20 cm)	72,28
Componentes sobre estrutura	110,31
Total	200,9
Manutenção	34,73

A próxima solução corresponde a uma cobertura **plana invertida**, acessível, para tráfego pedonal privado, com camada de revestimento exterior em betonilha armada.

Tabela 4.51 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº3) [51], [54], [55]

Tipo: Cobertura nº3	
Elemento	Valor (€/m ²)
Reboco int. (2 cm)	18,31
Laje aligeirada (24 cm)	45,52
Componentes sobre estrutura	73,02
Total	136,85
Manutenção	23,67

A seguinte solução corresponde a uma cobertura **plana invertida**, não acessível, com camada de revestimento exterior em terra vegetal – cobertura ajardinada intensiva.

Tabela 4.52 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº4) [46], [51], [56]

Tipo: Cobertura nº4	
Elemento	Valor (€/m2)
Reboco int. (2 cm)	18,31
Laje maciça (20 cm)	72,28
Componentes sobre estrutura	64,61
Total	155,2
Manutenção	69,9

Como foi referido as duas próximas dizem respeito a **coberturas inclinadas**. Neste tipo de coberturas já serão apresentados valores para diferentes componentes que constituem estas soluções.

A 1ª solução de cobertura inclinada, é de estrutura descontínua em madeira.

Tabela 4.53 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº5) [41], [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63]

Tipo: Cobertura nº5	
Elemento	Valor (€/m2)
Para vapor	5,1
Gesso cartonado (1,25 cm)	22,55
Asna	4,33
Madre	11,42
Barrote	6,29
EPS (8 cm)	9,63
Ripado duplo	7,03
Telha lusa	11,86
Total	78,21
Manutenção	9,08

A 2ª solução de cobertura inclinada, é em estrutura contínua de B.A..

Tabela 4.54 – Custos associados a um sistema de cobertura (cob. nº6) [51], [57], [62], [64], [65], [66]

Tipo: Cobertura nº6	
Elemento	Valor (€/m2)
Reboco int. (2 cm)	18,31
Laje maciça (20 cm)	74,45
Para-vapor	5,1
EPS (8 cm)	17,85
Ripado duplo	7,03
Telha lusa	11,43

Total	134,17
Manutenção	6,82

Tabela 4.55 – Custos de componentes estruturais de um sistema de cobertura [58], [59], [60], [62], [64]

Estrutura	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Madeira	22,04	3,18
Laje maciça (20 cm)	74,45	3,72
Ripado simples	3,79	0,46
Ripado duplo	7,03	0,86

Tabela 4.56 – Custo de isolamento térmico de um sistema de cobertura [61], [65]

Isolamento	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
EPS (8 cm) sobre suporte contínuo de betão	17,85	0,36
EPS (8 cm) sob estrutura, em espaço não habitável	9,63	0,19
Lã mineral (8 cm) sobre suporte contínuo de betão	29,87	0,60
Lã mineral (8 cm) sob estrutura, em espaço não habitável	9,1	0,18

Tabela 4.57 – Custo de revestimento exterior de um sistema de cobertura [63], [66]

Revestimento ext.	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Telha Lusa sobre ripado em estrutura de madeira	11,86	1,02
Telha Lusa sobre ripado em estrutura de betão	11,43	0,98
Telha Lusa sobre argamassa em estrutura de betão	19,52	1,67
Chapa de zinco	89,14	-

Tabela 4.58 – Custos de outros componentes de um sistema de cobertura [51], [57]

Outros componentes	Valor (€/m ²)	Manutenção (€/m ²)
Reboco (2 cm)	20,9	0,9
Para-vapor	5,1	-

4.3.4. MATERIAIS

As tabelas 4.59 até 4.63 são apresentadas com o intuito de no próximo capítulo se proceder à normalização dos valores apresentados, e ser possível comparar as diferentes opções.

Enquanto, nas tabelas anteriores, os valores apresentados para os materiais incluíam os custos de mão de obra, equipamentos e outros materiais necessários à aplicação, neste subcapítulo serão apresentados os custos associados a, somente, 1m² de material em questão.

4.3.4.1. Isolamento Térmico

Tabela 4.59 – Custos de diferentes tipos de isolamento [32], [36]

Material	EPS 36 mm	Lã de rocha 38 mm	Lã de vidro 40 mm	Cortiça 40 mm	PUR 25 mm
Custo (€/m ²)	2,86	3,2	9,58	13,35	2,74

4.3.4.2. Alvenaria

Tabela 4.60 – Custos de diferentes tipos de alvenaria [31]

Material	Bloco de betão 20	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 11+15
Custo (€/m ²)	6,40	5,76	6,24

4.3.4.3. Revestimento de fachada

Tabela 4.61 – Custos de diferentes tipos de revestimento de fachada [40]

Material	Chapa de zinco 1mm	Aglomerado madeira e cimento 12 mm	Pedra natural 3cm
Custo (€/m ²)	61,23	17,71	113,38

4.3.4.4. Revestimento de Pavimento

Tabela 4.62 – Custos de diferentes tipos de revestimento de pavimento [45], [50], [67], [68]

Material	Lajeta de betão	Ladrilho cerâmico 1,5 cm	Soalho de madeira	Granito 3cm
Custo (€/m ²)	10,99	8,40	72,00	61,48

4.3.4.5. Revestimento de Cobertura

Tabela 4.63 – Custos de diferentes tipos de revestimento de cobertura [63], [69]

Material	Chapa de zinco 0,8mm	Telha cerâmica
Custo (€/m ²)	46,57	5,40

4.4. INDICADOR FUNCIONAL

Como foi referido, o indicador funcional utilizado é o coeficiente de transmissão térmica – U.

Será apresentado o valor da resistência térmica de cada camada das soluções construtivas, que permitiu o cálculo do coeficiente U.

Para cálculo de U de cada solução construtiva será utilizada a equação (1) apresentada no capítulo 2. Os valores de R_{si} e R_{se} considerados para o cálculo de U, são apresentados na imagem seguinte.

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Figura 33 – Valores das resistências térmicas superficiais [70]

4.4.1. FACHADAS

As tabelas 4.64 até 4.67 apresentam os valores da resistência térmica das camadas que compõem as diferentes soluções construtivas.

Tabela 4.64 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada ETICS ($m^2 \cdot C/W$) [20], [71], [72]

ETICS	Reboco 2 cm	Tijolo cerâmico 22	EPS 6 cm	Reboco Armado 2 cm
R	0,015	0,58	1,67	0,015

Tabela 4.65 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada dupla nº1 ($m^2 \cdot C/W$) [20], [70], [71], [73], [74]

Dupla nº1	Reboco 2 cm	Tijolo cerâmico 11	EPS 2 cm	Caixa de ar	Tijolo cerâmico 15	Reboco 2 cm
R	0,015	0,29	0,56	0,18	0,42	0,015

Tabela 4.66 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada dupla nº2 ($m^2 \cdot C/W$) [20], [70], [71], [73], [75]

Dupla nº2	Reboco 2 cm	Tijolo cerâmico 11	EPS 4 cm	Caixa de ar	Tijolo maciço 11	Reboco 2 cm
R	0,015	0,29	1,11	0,18	0,16	0,105

Tabela 4.67 – Valor das resistências térmicas das camadas da fachada ventilada ($m^2 \cdot C/W$) [20], [71], [72]

Ventilada	Reboco 2 cm	Tijolo cerâmico 22	EPS 4 cm	Caixa de ar	Aglomerado madeira e cimento 1,2 cm
R	0,015	0,58	1,11	0,00	0,00

Utilizando os dados apresentados, foi calculado coeficiente de transmissão térmica de cada solução construtiva. Os valores de U são exibidos na tabela 4.68.

Tabela 4.68 – Coeficiente de transmissão térmica das fachadas (W/m²C)

Fachada	ETICS	Dupla nº1	Dupla nº2	Ventilada
U	0,41	0,61	0,49	0,54

Os valores apresentados, para este indicador, serão normalizados no próximo capítulo, para se proceder à análise global de desempenho de sustentabilidade.

4.4.2. PAVIMENTOS

As tabelas 4.69 até 4.72 apresentam os valores da resistência térmica das camadas que compõem as diferentes soluções construtivas de pavimento.

Tabela 4.69 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº1 (m²C/W) [21], [24], [70], [71], [77], [78]

Pav. nº1	Gesso cartonado 1,25 cm	Lã de rocha 2,5 cm	Caixa de ar	Laje dupla vigota	Cortiça 4 cm	Lajeta Betão leve 4 cm
R	0,05	0,66	0,18	0,13	1,00	0,11

Tabela 4.70 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº2 (m²C/W) [21], [24], [70], [71], [77], [78]

Pav. nº2	Gesso cartonado 1,25 cm	Lã de rocha 2,5 cm	Caixa de ar	Laje maciça	Cortiça 4 cm	Lajeta Betão leve 4 cm
R	0,05	0,66	0,18	0,10	1,00	0,11

Tabela 4.71 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº3 (m²C/W) [21], [24], [70], [71], [77], [78]

Pav. nº3	Gesso cartonado 1,25 cm	Lã de rocha 2,5 cm	Caixa de ar	Painel alveolar	Cortiça 4 cm	Lajeta Betão leve 4 cm
R	0,05	0,66	0,18	0,10	1,00	0,11

Tabela 4.72 – Valor das resistências térmicas das camadas do pav. nº4 (m²C/W) [21], [70], [77], [78]

Pav. nº4	Gesso cartonado 1,25 cm	Lã de rocha 8 cm	Caixa de ar	Madeira
R	0,05	2,11	0,18	0,12

Mais uma vez, com os valores apresentados foi calculado o coeficiente U e concretizada a tabela 4.73.

Tabela 4.73 – Coeficiente de transmissão térmica dos pavimentos (W/m²C)

Pavimento	Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
U	0,43	0,434	0,434	0,377

4.4.3. COBERTURAS

Da tabela 4.74 até à tabela 4.79 são apresentados os valores da resistência térmica das camadas que compõem as diferentes soluções construtivas de cobertura.

Tabela 4.74 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº1 (m^2C/W) [20], [71], [78]

Cob. nº1	Reboco 2cm	Laje maciça 20 cm	Betão leve 10cm	EPS 8 cm	Godo 10 cm
R	0,015	0,1	0,36	2,22	0,14

Tabela 4.75 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº2 (m^2C/W) [20], [71], [78]

Cob. nº2	Reboco 2 cm	Laje maciça 20 cm	Betão leve 10cm	EPS 8 cm	B.A. 6 cm	Mosaico cerâmico
R	0,015	0,1	0,36	2,22	0,03	0,01

Tabela 4.76 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº3 (m^2C/W) [20], [71], [78]

Cob. nº3	Reboco 2cm	Laje aligeirada 24 cm	Betão leve 10cm	EPS 8 cm	Betonilha armada 6 cm
R	0,015	0,12	0,36	2,22	0,05

Tabela 4.77 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº4 (m^2C/W) [20], [71], [78]

Cob. nº4	Reboco 2cm	Laje maciça 20 cm	Betão leve 5 cm	EPS 8 cm	Camada drenante gravilha 10 cm	Terra vegetal 20 cm
R	0,015	0,1	0,18	2,22	0,14	0,26

Tabela 4.78 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº5 (m^2C/W) [20], [70], [77], [78]

Cob. nº5	Gesso cartonado 1,25 cm	EPS 8 cm	Caixa de ar	Telha cerâmica
R	0,05	2,22	0,18	0,026

Tabela 4.79 – Valor das resistências térmicas das camadas da cob. nº6 (m^2C/W) [20], [70], [71], [78]

Cob. nº6	Reboco 2cm	Laje maciça 20 cm	EPS 8 cm	Caixa de ar	Telha cerâmica
R	0,015	0,1	2,22	0,18	0,026

Recorrendo aos valores da resistência térmica apresentados, foi calculado o coeficiente U das diferentes soluções.

Tabela 4.80 – Coeficiente de transmissão térmica das coberturas (W/m^2C)

Cobertura	Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
U	0,336	0,348	0,343	0,325	0,382	0,371

4.4.4. MATERIAIS

Ao contrário das soluções construtivas em que se utilizou o coeficiente U, calculado com os R's das diferentes camadas, para os materiais utilizar-se-á como indicador funcional, a resistência térmica – R – de cada um, dado que este indicador está relacionado com o coeficiente U.

No caso dos isolamentos térmicos, como já foi indicado, eles estão a ser comparados, quer a nível ambiental, quer a nível económico, considerando camadas de material que proporcionam um $R=1 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, pelo que não é necessário apresentar tabela.

Quanto aos restantes materiais, serão apresentados os valores das resistências térmicas de seguida.

Tabela 4.81 – Valor das resistências térmicas de alvenarias ($\text{m}^2\text{C/W}$) [72], [73], [74], [79]

Alvenaria	Bloco de betão	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 15+11
R	0,22	0,58	0,71

Tabela 4.82 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de fachada ($\text{m}^2\text{C/W}$) [78]

Revestimento de fachada	Chapa de zinco	Placa de pedra	Aglomerado de madeira e cimento
R	8,93E-06	0,01	0,055

Tabela 4.83 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de pavimento ($\text{m}^2\text{C/W}$) [78]

Revestimento de pavimento	Madeira	Mosaico cerâmico	Placa de Pedra	Betão leve
R	0,12	0,01	0,01	0,11

Tabela 4.84 – Valor das resistências térmicas de revestimentos de cobertura ($\text{m}^2\text{C/W}$) [78]

Revestimento de cobertura	Chapa de zinco	Telha cerâmica
R	8,93E-06	0,026

5

NORMALIZAÇÃO E COMPARAÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Como foi explicado no capítulo 4, não é viável escolher a melhor solução de cada tipo de solução construtiva, analisando diretamente os valores apresentados nas tabelas exibidas anteriormente. Desta forma, será utilizada a metodologia MARS-SC, para comparar as alternativas.

Nesta metodologia a normalização dos valores é realizada através do cálculo do nível de desempenho de cada indicador, numa escala adimensional, em que 0 diz respeito à pior solução e 1 à melhor.

O valor normalizado do indicador de desempenho n , para uma determinada solução é obtido pela expressão da equação (2)

$$\bar{I}_n = \frac{I_n - I_p}{I_m - I_p}$$

Em que:

- I_n – valor do desempenho dessa solução para o indicador n ;
- I_m – valor do desempenho da melhor solução (de referência) para o indicador n ;
- I_p – valor do desempenho da pior solução (de referência) para o indicador n .

Será realizada a normalização para os diferentes indicadores ambientais e económicos.

A agregação dos valores será realizada, em primeira instância, separadamente para cada dimensão (ambiental, funcional e económica), e por fim conjuntamente para determinar o nível de sustentabilidade global, com uma ponderação de 50% para a dimensão ambiental, 15% para a funcional e 35% para a económica. As ponderações atribuídos foram decididas no âmbito da realização desta dissertação.

5.2. INDICADORES AMBIENTAIS

Para determinar os valores extremos da escala ambiental, em cada indicador, foram analisadas todas as soluções de fachadas, pavimentos e coberturas, individualmente, que constituem a base de dados utilizada, e retirados os valores máximos e mínimos que se encontram nessa mesma base de dados. Para facilitar a realização dos cálculos construíram-se as tabelas com os pior e melhor valores de cada indicador. Após o cálculo dos indicadores normalizados, será calculada a média desses indicadores, considerando uma ponderação igual para todos eles, sendo que o valor da média será exibido na última linha da tabela de indicadores normalizados.

5.2.1. FACHADAS

Tabela 5.1 – Valores de referência, de fachadas, para os indicadores ambientais [4]

Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	1,75E+00	2,91E+02	3,18E-04	1,36E+00	4,60E-02	2,65E-01	6,71E+03
Melhor	3,36E-01	5,45E+01	3,12E-06	1,92E-01	1,24E-02	1,83E-02	7,86E+02

Através da tabela 5.1 e com recurso à fórmula da metodologia MARS-SC, construiu-se a seguinte tabela que diz respeito aos indicadores normalizados de cada tipo de solução construtiva de fachada.

Tabela 5.2 – Indicadores ambientais normalizados para fachadas

Indicador normalizado	ETICS	Dupla nº1	Dupla nº2	Ventilada
ADP	0,93	0,83	0,65	0,94
GWP	0,89	0,69	0,55	0,90
ODP	0,99	0,67	0,34	0,37
AP	0,97	0,88	0,78	0,95
POCP	0,69	0,87	0,63	0,89
EP	0,93	0,85	0,78	0,93
ENR+ER	0,95	0,89	0,79	0,96
Média	0,91	0,81	0,64	0,85

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.2 podem-se ordenar as diferentes soluções construtivas de fachada, a nível de desempenho ambiental, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. ETICS;
2. Ventilada;
3. Dupla nº 1;
4. Dupla nº 2.

5.2.2. PAVIMENTOS

Tabela 5.3 – Valores de referência, de pavimentos, para os indicadores ambientais [4]

Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	7,14E-01	1,27E+02	1,14E-05	7,79E-01	3,35E-02	7,95E-02	1,76E+03
Melhor	8,45E-02	8,68E+00	1,37E-06	6,06E-02	3,53E-03	1,96E-02	8,67E+02

Com recurso aos valores da tabela 5.3 e à fórmula da metodologia MARS-SC, calculou-se os valores dos indicadores normalizados para as diferentes soluções construtivas de pavimento e construiu-se a seguinte tabela.

Tabela 5.4 – Indicadores ambientais normalizados para pavimentos

Indicador normalizado	Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
ADP	0,13	0,00	0,22	0,96
GWP	0,18	0,00	0,23	0,59
ODP	0,14	0,00	0,21	0,99
AP	0,50	0,41	0,53	0,00
POCP	0,34	0,23	0,41	0,95
EP	0,26	0,00	0,27	0,97
ENR+ER	0,17	0,00	0,34	0,94
Média	0,25	0,09	0,32	0,77

As 3 primeiras soluções apresentam um desempenho ambiental precário, pois possuem os valores dos indicadores próximos daqueles que foram considerados para I_p , e também porque os valores de I_p e I_m são afastados.

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.4 pode-se ordenar as diferentes soluções construtivas de pavimento, a nível de desempenho ambiental, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Pavimento nº4;
2. Pavimento nº3;
3. Pavimento nº1;
4. Pavimento nº2.

A solução de pavimento que obteve melhor classificação de desempenho ambiental, foi a nº4, solução esta que é constituída por estrutura de suporte em madeira, e revestimento do pavimento também em madeira, algo que não é muito comum em construção nova. Dito isto, caso se tratasse de uma situação de reabilitação, em que fosse opção a estrutura em madeira, a solução nº4 seria a escolha em termos ambientais, no entanto caso fosse um cenário de construção nova, creio que a melhor solução seria a nº3, constituída por estrutura em painéis alveolares.

5.2.3. COBERTURAS

Tabela 5.5 – Valores de referência, de coberturas, para os indicadores ambientais [4]

Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	8,68E+01	4,02E+04	1,30E-03	6,57E+01	2,38E+00	1,04E+01	1,67E+05
Melhor	7,43E-02	-3,65E+01	2,05E-06	4,92E-02	2,62E-03	6,30E-03	1,59E+02

Com recurso aos valores da tabela 5.5 e à fórmula da metodologia MARS-SC, calculou-se os valores dos indicadores normalizados para as diferentes soluções construtivas de cobertura e construiu-se a seguinte tabela.

Tabela 5.6 – Indicadores ambientais normalizados para coberturas

Indicador normalizado	Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
ADP	0,994	0,992	0,992	0,995	1,000	0,998
GWP	0,995	0,995	0,995	0,996	0,999	0,998
ODP	0,994	0,992	0,991	0,995	1,000	0,998
AP	0,991	0,990	0,990	0,994	1,000	0,998
POCP	0,991	0,989	0,988	0,994	0,999	0,998
EP	0,994	0,993	0,994	0,996	1,000	0,997
ENR+ER	0,993	0,991	0,991	0,995	1,000	0,998
Média	0,993	0,992	0,992	0,995	1,000	0,998

Esta situação é oposta à registada para os pavimentos, pois todas as soluções de cobertura exibem, aparentemente, um desempenho ambiental elevado para todas as categorias. Isto deve-se ao facto do pior valor de cada indicador ser múltiplas vezes superior aos que exibem as soluções em estudo. Para ser possível diferenciar as diferentes soluções, apresenta-se os valores dos indicadores normalizados até à 3ª casa decimal.

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.6 pode-se ordenar as diferentes soluções construtivas de cobertura, a nível de desempenho ambiental, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Cobertura nº5;
2. Cobertura nº6;
3. Cobertura nº4;
4. Cobertura nº1;
5. Cobertura nº2;
6. Cobertura nº3.

As duas que apresentam melhor desempenho ambiental são as coberturas inclinadas (nº5 e 6) sendo a melhor a que diz respeito à estrutura descontínua em madeira, e a 2ª melhor à estrutura contínua em laje de B.A.

Quanto às soluções de cobertura plana, a que ficou melhor classificada, é a nº4, que diz respeito à cobertura ajardinada.

5.2.4. MATERIAIS

Para efetuar o cálculo de normalização dos indicadores ambientais, recorrer-se-á, mais uma vez, à metodologia MARS-SC.

Tabela 5.7 – Valores de referência, de isolamentos térmicos, para os indicadores ambientais [4]

	Isolamento
--	-------------------

Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	4,31E-02	5,55E+00	2,78E-07	3,16E-02	5,83E-03	2,75E-03	1,57E+02
Melhor	1,14E-02	1,96E+00	1,89E-08	5,14E-03	4,46E-04	9,44E-04	3,93E+01

Tabela 5.8 – Indicadores ambientais normalizados para isolamentos térmicos

Indicador normalizado	Material				
	Cortiça	Lã de rocha	Lã de vidro	PUR	EPS
ADP	0,38	0,10	1,00	0,00	0,10
GWP	1,00	0,00	0,58	0,17	0,26
ODP	0,00	0,18	0,41	1,00	0,71
AP	0,58	0,00	1,00	0,53	0,71
POCP	0,83	0,43	1,00	0,70	0,00
EP	0,43	0,58	1,00	0,00	0,93
ENR+ER	0,00	0,60	1,00	0,46	0,56
Média	0,46	0,27	0,86	0,41	0,47

Aqui verifica-se a importância de se utilizar mais do que um indicador, pois mesmo que as escalas sejam definidas com os objetos em análise, a diversidade de indicadores contribui para que não seja atribuída a classificação 0 (zero) a uma das opções.

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.8, que diz respeito à classificação média de todos os indicadores, podem-se ordenar as diferentes opções de isolamento térmico, a nível de desempenho ambiental, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Lã de vidro;
2. EPS;
3. Cortiça;
4. PUR;
5. Lã de rocha.

Tabela 5.9 – Valores de referência, de alvenarias, para os indicadores ambientais [4]

Alvenaria							
Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	4,60E-01	1,25E+02	6,54E-06	2,28E-01	1,56E-02	2,62E-02	1,11E+03
Melhor	2,95E-01	5,50E+01	1,78E-06	1,46E-01	1,00E-02	1,68E-02	7,09E+02

Tabela 5.10 – Indicadores ambientais normalizados para alvenarias

Indicador normalizado	Material		
	Bloco de betão 20	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 15+11
ADP	0,24	1,00	0,00
GWP	0,00	1,00	0,56
ODP	0,00	0,54	0,08

AP	0,33	1,00	0,00
POCP	0,49	1,00	0,00
EP	0,08	1,00	0,00
ENR+ER	0,18	1,00	0,00
Média	0,19	0,93	0,09

Analisando a média dos indicadores ambientais apresentada na tabela 5.10, ordenou-se as diferentes opções de alvenaria, do melhor para o pior, da seguinte maneira:

1. Tijolo cerâmico 22;
2. Bloco de betão 20;
3. Tijolo cerâmico 15+11.

Tabela 5.11 – Valores de referência, de revestimentos de fachada, para os indicadores ambientais [4]

Revestimento de fachada							
Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	1,26E-01	1,77E+01	9,86E-07	2,89E-01	1,04E-02	1,74E-02	2,09E+02
Melhor	6,70E-04	-2,22E-01	1,22E-08	1,82E-03	2,91E-05	2,94E-04	1,53E+00

Tabela 5.12 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de fachada

Indicador normalizado	Material		
	Chapa de zinco	Pedra calcária	Aglomerado de madeira e cimento
ADP	0,00	1,00	0,98
GWP	0,00	0,98	1,00
ODP	0,00	1,00	0,97
AP	0,00	1,00	1,00
POCP	0,00	1,00	0,99
EP	0,00	0,99	1,00
ENR+ER	0,00	1,00	0,90
Média	0,00	0,99	0,98

Como se pode verificar, a opção da chapa de zinco obteve classificação média de 0, pelo facto de se ter utilizado os valores dos materiais em análise como Im e Ip.

Analisando a média dos indicadores ambientais apresentada na tabela 5.12, ordenou-se as diferentes opções de alvenaria, do melhor para o pior, da seguinte maneira:

1. Pedra;
2. Aglomerado de madeira e cimento;
3. Chapa de zinco.

Tabela 5.13 – Valores de referência, de revestimentos de pavimento, para os indicadores ambientais [4]

Revestimento de pavimento

Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	2,33E-01	3,39E+01	4,31E-06	2,00E-01	6,12E-03	3,95E-02	1,19E+03
Melhor	1,22E-02	-1,44E+01	1,54E-07	9,66E-03	8,75E-04	1,55E-03	8,10E+01

Tabela 5.14 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de pavimento

Indicador normalizado	Material			
	Madeira serrada	Mosaico/azulejo cerâmico	Placa de pedra	Betão
ADP	1,00	0,28	0,00	0,90
GWP	1,00	0,28	0,00	0,37
ODP	1,00	0,51	0,00	0,91
AP	1,00	0,64	0,00	0,92
POCP	1,00	0,47	0,00	0,99
EP	1,00	0,85	0,00	0,93
ENR+ER	0,88	0,77	0,00	1,00
Média	0,98	0,54	0,00	0,86

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.14 é possível ordenar as diferentes soluções de revestimento de pavimento, a nível de desempenho ambiental, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Madeira serrada;
2. Betão;
3. Mosaico/azulejo cerâmico;
4. Placa de pedra.

Tabela 5.15 – Valores de referência, de revestimentos de cobertura, para os indicadores ambientais [4]

Revestimento de cobertura							
Indicador	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR+ER
Pior	1,26E+01	3,92E+01	4,04E-06	2,89E-01	1,04E-02	1,74E-02	7,36E+02
Melhor	3,16E-01	1,77E+01	9,86E-07	1,39E-01	7,44E-03	1,37E-02	2,09E+02

Tabela 5.16 – Indicadores ambientais normalizados para revestimentos de cobertura

Indicador normalizado	Material	
	Chapa de zinco	Telha cerâmica
ADP	0,00	1,00
GWP	1,00	0,00
ODP	1,00	0,00
AP	0,00	1,00
POCP	0,00	1,00
EP	0,00	1,00
ENR+ER	1,00	0,00

Média	0,43	0,57
-------	------	------

Na tabela 5.16, apesar de só serem analisadas duas opções, tem-se um cenário equilibrado ao nível do desempenho ambiental, sendo a melhor solução a telha cerâmica.

5.3. INDICADORES ECONÓMICOS NORMALIZADOS

Será utilizada novamente a metodologia MARS-SC. Para cálculo dos valores dos indicadores normalizados, adimensionais.

Para definir os valores extremos da escala económica, em cada indicador, decidiu-se que o valor mínimo seria 0€, visto que quanto menor for o valor melhor, e que o valor máximo, corresponderia ao valor mais elevado de entre as soluções possíveis de realizar, calculado com as tabelas de custos de materiais apresentados no capítulo anterior. Sendo que se definiu um máximo para cada tipo de solução construtiva (fachada; pavimento; cobertura).

Os indicadores económicos considerados, serão:

- Custo associado à execução de 1m² de solução;
- Custo de manutenção decenal nos primeiros 10 anos.

Após o cálculo dos indicadores normalizados, será calculada a média desses indicadores, considerando uma ponderação de 90% para o custo associado à execução de 1m² de solução, e de 10% para o custo de manutenção decenal.

5.3.1. FACHADAS

Como foi referido, para este indicador, o valor de I_m será 0 €/m². O valor de I_p considerado é igual a 243,6 €/m² e corresponde a um tipo de fachada ventilada, com as seguintes componentes:

- Reboco interior – 2 cm;
- Bloco de betão – 20 cm;
- Lã de rocha – 40 mm;
- Pedra natural – 3 cm.

Tabela 5.17 – Valores de referência, de fachadas, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Execução	Manutenção
Pior	243,6	18,84
Melhor	0	0

Tabela 5.18 – Indicadores económicos normalizados para fachadas

Indicador Normalizado	ETICS	Dupla nº1	Dupla nº2	Ventilada
Execução	0,63	0,70	0,58	0,48
Manutenção	0,52	0,79	0,74	0,46
Média ponderada	0,63	0,70	0,59	0,48

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.8 podem-se ordenar as diferentes soluções construtivas de fachada, a nível de desempenho económico, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Dupla nº1;
2. ETICS;
3. Dupla nº 2;
4. Ventilada.

5.3.2. PAVIMENTOS

Para este indicador, o valor de I_m será 0 €/m². O valor de I_p considerado é igual a 217,6 €/m² e corresponde a um tipo de pavimento, com as seguintes componentes:

- Gesso cartonado – 1,25 cm;
- Lã de rocha – 2,5 cm;
- Laje maciça – 20 cm;
- Folha de polietileno – 0,3 cm;
- Aglomerado de cortiça – 4 cm;
- Placa de granito – 3 cm.

O valor mais elevado da manutenção não corresponde à solução acima descrita, mas sim à manutenção do pavimento nº4, pois é esta que apresenta o valor mais elevado.

Tabela 5.19 – Valores de referência, de pavimentos, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Execução	Manutenção
Pior	217,6	35,54
Melhor	0	0

Tabela 5.20 – Indicadores económicos normalizados para pavimentos

Indicador normalizado	Pavimento nº1	Pavimento nº2	Pavimento nº3	Pavimento nº4
Execução	0,32	0,21	0,28	0,24
Manutenção	0,56	0,55	0,52	0,00
Média ponderada	0,33	0,23	0,29	0,23

Utilizando os valores da média ponderada da tabela 5.10 podemos ordenar as diferentes soluções construtivas de pavimento, a nível de desempenho económico, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Pavimento nº1;
2. Pavimento nº3;
3. Pavimento nº2;
4. Pavimento nº4.

5.3.3. COBERTURAS

Para este indicador, o valor de I_m será 0 €/m². O valor de I_p considerado é igual a 219,46 €/m² e corresponde a um tipo de cobertura inclinada, com as seguintes componentes:

- Reboco – 2 cm;
- Laje maciça – 20 cm;
- Pára-vapor;
- Lã mineral – 8 cm;
- Chapa de zinco – 0,8 cm.

O valor de I_p considerado corresponde ao valor da manutenção da solução de cobertura ajardinada, pois era o mais elevado dentro dos calculados

Tabela 5.21 – Valores de referência, de coberturas, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Execução	Manutenção
Pior	219,46	69,9
Melhor	0	0

Tabela 5.22 – Indicadores económicos normalizados para coberturas

Indicador Normalizado	Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
Execução	0,28	0,08	0,38	0,29	0,64	0,39
Manutenção	0,69	0,50	0,66	0,00	0,87	0,90
Média ponderada	0,30	0,11	0,39	0,28	0,65	0,41

Utilizando os valores da última linha da tabela 5.12 é possível ordenar as diferentes soluções construtivas de cobertura, a nível de desempenho económico, da melhor à pior, sendo a ordem a seguinte:

1. Cobertura nº5;
2. Cobertura nº6;
3. Cobertura nº3;
4. Cobertura nº1;
5. Cobertura nº4;
6. Cobertura nº2.

5.3.4. MATERIAIS

Para cada tipo de material, o valor de I_m será 0 €/m² e o valor de I_p considerado é o maior dos valores, dos que foram apresentados no capítulo anterior, para cada tipo de material.

5.3.4.1. Isolamento térmico

De entre os valores de isolamento térmico apresentados, o mais elevado pertence ao aglomerado de cortiça, sendo esse valor 13,35 €/m².

Tabela 5.23 – Valores de referência, de isolamentos térmicos, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Fachada
Pior	13,35
Melhor	0

Utilizando a metodologia MARS-SC, construiu-se a seguinte tabela onde se apresentam os valores normalizados do indicador económico.

Tabela 5.24 - Indicador económico normalizado para isolamentos térmicos

Indicador normalizado	EPS	Lã de rocha	Lã de vidro	Cortiça	PUR
	0,79	0,76	0,28	0,00	0,80

Através tabela 5.24 podemos ordenar, a nível de desempenho económico, as diferentes soluções de isolamento térmico, da seguinte forma:

1. PUR;
2. EPS;
3. Lã de rocha;
4. Lã de vidro;
5. Cortiça.

5.3.4.2. Alvenaria

O valor a que corresponde o pior indicador de alvenaria pertence ao bloco de betão de 20 cm.

Tabela 5.25 – Valores de referência, de alvenarias, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Alvenaria
Pior	6,4
Melhor	0

Mais uma vez através da metodologia MARS-SC e dos valores apresentados, calcularam-se os indicadores normalizados para as soluções de alvenaria.

Tabela 5.26 - Indicador económico normalizado para alvenarias

Indicador normalizado	Bloco de betão 20	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 11+15
	0,00	0,10	0,03

Analisando a tabela 5.26, verifica-se que todas as soluções possuem valores muito baixos, algo que se deve ao facto de que os valores das diferentes soluções são muito próximos, na escala utilizada.

Com os indicadores normalizados, ordenou-se as diferentes soluções da seguinte forma:

1. Tijolo cerâmico 22;
2. Tijolo cerâmico 11+15;
3. Bloco de betão 20.

5.3.4.3. Revestimento de fachada

Para este tipo de material aquele que apresenta valor mais elevado, é a solução em placas de granito com 3 cm de espessura.

Tabela 5.27 – Valores de referência, de revestimentos de fachada, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Rev. Fachada
Pior	113,38
Melhor	0

Tabela 5.28 - Indicador económico normalizado para revestimentos de fachada

Indicador normalizado	Chapa de zinco	Aglomerado madeira e cimento 12 mm	Pedra natural 3cm
	0,46	0,84	0,00

Utilizando a metodologia MARS-SC contruiu-se a tabela 5.28 que permite organizar as soluções de revestimento de fachada, da melhor para a pior, a nível de desempenho económico, da seguinte forma:

1. Aglomerado madeira e cimento 12 mm;
2. Chapa de zinco 1mm;
3. Pedra natural 3cm.

5.3.4.4. Revestimento de pavimento

Para as soluções de revestimento de pavimento, o indicador Ip apresenta um valor de 72 €/m², valor esse que diz respeito ao pavimento em madeira.

Tabela 5.29 – Valores de referência, de revestimentos de pavimento, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Rev. Pavimento
Pior	72
Melhor	0

Tabela 5.30 - Indicador económico normalizado para revestimentos de pavimento

Indicador normalizado	Lajeta de betão	Mosaico cerâmico	Madeira	Granito 3cm
	0,85	0,88	0,00	0,15

Utilizando a metodologia MARS-SC contruiu-se a tabela 5.30 que permite organizar as soluções de revestimento de pavimento, da melhor para a pior, a nível de desempenho económico, da seguinte forma:

1. Mosaico cerâmico;
2. Lajeta de betão leve;
3. Granito;

4. Madeira.

5.3.4.5. Revestimento de cobertura

Tabela 5.31 – Valores de referência, de revestimentos de cobertura, para os indicadores económicos (€/m²)

Indicador	Rev. Cobertura
Pior	46,57
Melhor	0

Utilizando a metodologia MARS-SC, construiu-se a tabela 5.32 onde se apresentam os valores normalizados do indicador económico.

Tabela 5.32 - Indicador económico normalizado para revestimentos de cobertura

Indicador normalizado	Chapa de zinco 0,8mm	Telha cerâmica
	0	0,88

Através desta tabela verifica-se que, a nível de desempenho económico, a melhor solução é a telha cerâmica.

5.4. INDICADOR FUNCIONAL NORMALIZADO

Para determinar os valores extremos da escala funcional, para o indicador U, foram analisadas várias soluções de fachadas, pavimentos e coberturas, individualmente, e definidos os valores máximo e mínimo para cada tipo de solução construtiva, disponíveis na base de dados de ACV [4].

Como referido, os valores calculados neste capítulo serão utilizados para o cálculo de desempenho global das soluções.

5.4.1. FACHADAS

O valor de Im corresponde a uma fachada com as seguintes camadas, do interior para o exterior:

- Gesso cartonado – 1,2 cm;
- Lã de rocha – 5 cm;
- Tijolo cerâmico de 15 cm;
- Cortiça – 5 cm;
- Caixa de ar – 4 cm;
- Aglomerado de madeira e cimento – 1,2 cm.

O valor de Ip corresponde a uma fachada com as seguintes camadas, do interior para o exterior:

- B.A. – 20 cm;
- EPS – 4 cm;
- Caixa de ar – 6 cm;
- Placas de pedra – 3 cm.

Tabela 5.33 – Valores de referência, de fachadas, para o indicador funcional (W/m²°C)

Indicador	U
Pior	0,63
Melhor	0,29

Através da tabela 5.33 e com recurso à fórmula da metodologia MARS-SC, construiu-se a tabela 5.34 que diz respeito aos indicadores normalizados de cada tipo de solução construtiva de fachada.

Tabela 5.34 – Indicador funcional normalizado para fachadas

Indicador normalizado	ETICS	Dupla nº1	Dupla nº2	Ventilada
	0,65	0,18	0,41	0,26

5.4.2. PAVIMENTOS

Para as soluções de pavimento, o valor de Im corresponde a um pavimento com as seguintes camadas, de baixo para cima:

- 2 x Gesso cartonado – 2 x 1,25 cm;
- Lã de rocha – 8 cm;
- Caixa de ar;
- Estrutura de suporte em madeira;
- Pavimento em madeira – 1,8 cm.

O valor de Ip corresponde a pavimento com as seguintes camadas, de baixo para cima:

- Gesso cartonado – 1,25 cm;
- Lã de rocha – 2,5 cm;
- Caixa de ar;
- Laje maciça em B.A. – 20 cm.

Tabela 5.35 – Valores de referência, de pavimentos, para o indicador funcional (W/m²°C)

Indicador	U
Pior	0,840
Melhor	0,369

A tabela 5.36 apresenta os valores, do indicador U, normalizados para as diferentes soluções de pavimento.

Tabela 5.36 – Indicador funcional normalizado para pavimentos

Indicador normalizado	Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº4
	0,87	0,86	0,86	0,98

5.4.3. COBERTURAS

O valor de Im corresponde ao valor da cobertura nº4 que está a ser analisada nesta dissertação.

O valor de I_p corresponde a uma cobertura com as seguintes camadas, do interior para o exterior:

- Reboco – 2 cm;
- Laje aligeirada – 24 cm;
- EPS – 6 cm;
- Suporte, inclinado em ripas de madeira;
- Telha cerâmica.

Tabela 5.37 – Valores de referência, de coberturas, para o indicador funcional (W/m^2C)

Indicador	U
Pior	0,465
Melhor	0,325

Tabela 5.38 – Indicador funcional normalizado para coberturas

Indicador normalizado	Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
	0,92	0,84	0,87	1	0,59	0,67

5.4.4. MATERIAIS

Para o indicador R será considerado para I_p o valor 0 (zero) e para I_m o mais elevado dentro do tipo de material em análise.

Para os **isolamentos**, como os diferentes materiais em questão exibem todos o mesmo R, o indicador normalizado para esta classe terá o valor 1 em todos os materiais.

Para **alvenarias**, o valor de I_m será $0,71 (m^2C/W)$, e os indicadores normalizados encontram-se na tabela 5.39.

Tabela 5.39 – Indicador funcional normalizado para alvenarias

Indicador normalizado	Bloco de betão	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 15+11
	0,31	0,82	1,00

Para os **revestimentos de fachada**, o valor de I_m será $0,055 (m^2C/W)$, e os indicadores normalizados estão na tabela 5.40.

Tabela 5.40 – Indicador funcional normalizado para revestimento de fachadas

Indicador normalizado	Chapa de zinco	Placa de pedra	Aglomerado de madeira e cimento
	1,62E-04	0,18	1,00

Para os **revestimentos de pavimento**, o valor de I_m será $0,12 (m^2C/W)$, e os indicadores normalizados estão na tabela 5.41.

Tabela 5.41 – Indicador funcional normalizado para revestimento de pavimentos

Indicador normalizado	Madeira	Mosaico cerâmico	Placa de Pedra	Betão leve
	1,00	0,08	0,08	0,92

Para os **revestimentos de cobertura**, o valor de I_m será 0,026 (m^2C/W), e os indicadores normalizados estão na tabela 5.42.

Tabela 5.42 – Indicador funcional normalizado para revestimento de coberturas

Indicador normalizado	Chapa de zinco	Telha cerâmica
	3,43E-04	1,00

5.5. DESEMPENHO GLOBAL

Neste subcapítulo será realizada a avaliação das diferentes soluções construtivas, utilizando os valores normalizados dos diferentes indicadores, para se determinar o nível de sustentabilidade global – NS – de cada solução. Será considerada uma ponderação de 50% para a dimensão ambiental, 15% para a funcional e 35% para a econômica, e utilizada a equação (3).

5.5.1. FACHADAS

Tabela 5.43 – Nível de desempenho global das fachadas

	Fachada			
Indicador normalizado	ETICS	Dupla nº1	Dupla nº 2	Ventilada
Ambiental	0,91	0,81	0,64	0,85
Econômico	0,63	0,7	0,59	0,48
Funcional	0,65	0,18	0,41	0,26
NS	0,773	0,677	0,588	0,632

Analisando o nível de desempenho de sustentabilidade global das diferentes soluções de fachada em estudo, é possível dizer que a melhor, isto é, a mais sustentável é a solução de fachada ETICS, pois foi a que apresentou um NS mais elevado. Em segundo lugar encontra-se a solução de fachada ventilada, em terceiro, a fachada dupla nº1, e em último e, por isso, a pior, a solução de fachada dupla nº2.

5.5.2. PAVIMENTOS

Tabela 5.44 – Nível de desempenho global dos pavimentos

	Pavimento			
Indicador normalizado	Pav. nº1	Pav. nº2	Pav. nº3	Pav. nº 4
Ambiental	0,25	0,09	0,32	0,77
Económico	0,33	0,23	0,29	0,23
Funcional	0,87	0,86	0,86	0,98
NS	0,371	0,255	0,391	0,613

Examinando o nível de sustentabilidade global dos diferentes pavimentos, verifica-se que a 4ª opção, realizada com estrutura de madeira, é a melhor, com um nível de sustentabilidade algo superior quando comparada com as 3 primeiras opções, que são realizadas com estrutura de suporte em B.A., sendo a segundo melhor a opção nº3 (painéis alveolares), a terceira opção a nº4 (dupla vigota) e em último lugar a opção nº2 (laje maciça).

5.5.3. COBERTURAS

Tabela 5.45 – Nível de desempenho global das coberturas

	Cobertura					
Indicador normalizado	Cob. nº1	Cob. nº2	Cob. nº3	Cob. nº4	Cob. nº5	Cob. nº6
Ambiental	0,993	0,992	0,992	0,995	1	0,998
Económico	0,3	0,11	0,39	0,38	0,65	0,41
Funcional	0,92	0,84	0,87	1	0,59	0,67
NS	0,739	0,661	0,763	0,746	0,816	0,743

Quanto ao nível de sustentabilidade global das diferentes coberturas, estes são bastante próximos e todos acima de 0,5.

A melhor opção de cobertura é a nº5 (cobertura inclinada em madeira) e a segunda melhor, com um valor de NS idêntico é a opção nº4 (cobertura plana ajardinada). As restantes podem ser colocadas pela seguinte ordem: em 3º lugar a opção nº3; em 4º lugar a opção nº1; em 5º lugar a opção nº6; e por último, em 6º lugar a opção nº2.

Tanto nas soluções de cobertura como nas de pavimento, conclui-se que a melhor solução é aquela que é realizada com estrutura de suporte em madeira.

Caso se prefira uma solução com estrutura em betão, para o caso dos pavimentos a solução seria a de painéis alveolares, nº3, e para as coberturas a solução seria a cobertura plana ajardinada, nº4.

5.5.4. MATERIAIS

Será utilizada a mesma ponderação, para os diferentes indicadores, que foi considerada para as soluções construtivas.

Tabela 5.46 - Nível de desempenho global dos isolamentos térmicos

	Isolamento térmico				
Indicador normalizado	Cortiça	Lã de Rocha	Lã de vidro	PUR	EPS
Ambiental	0,46	0,27	0,86	0,41	0,47
Económico	0	0,76	0,28	0,8	0,79
Funcional	1	1	1	1	1
NS	0,38	0,55	0,68	0,64	0,66

Esta análise global de sustentabilidade, permite classificar os materiais de isolamento térmico pela seguinte ordem, do melhor ao pior:

1. Lã de vidro;
2. EPS;
3. PUR;
4. Lã de rocha;
5. Cortiça.

Tabela 5.47 - Nível de desempenho global das alvenarias

	Alvenaria		
Indicador normalizado	Bloco de betão leve	Tijolo cerâmico 22	Tijolo cerâmico 11+15
Ambiental	0,19	0,93	0,09
Económico	0	0,1	0,03
Funcional	0,31	0,82	1
NS	0,14	0,62	0,21

Com os valores de NS exibidos na tabela 5.47, pode-se dizer que a melhor opção é a de tijolo cerâmico de 22, contudo, no momento de escolher uma solução existem outros fatores que podem implicar uma opção diferente.

Tabela 5.48 - Nível de desempenho global dos revestimentos de fachada

	Revestimento de fachada		
Indicador normalizado	Chapa de zinco	Placa de pedra	Aglomerado de madeira e cimento
Ambiental	0	0,99	0,98
Económico	0,46	0	0,84
Funcional	1,62E-04	0,18	1
NS	0,16	0,52	0,93

Ao analisar a tabela 5.48 pode-se dizer que a solução de revestimento em aglomerado de madeira e cimento, é a mais sustentável, seguida da placa de pedra e em último no ranking a chapa de zinco.

Tabela 5.49 - Nível de desempenho global dos revestimentos de pavimento

	Revestimento de pavimento			
Indicador normalizado	Madeira	Mosaico cerâmico	Placa de pedra	Betão leve
Ambiental	0,98	0,54	0	0,86
Económico	0	0,88	0,15	0,85
Funcional	1,00	0,08	0,08	0,92
NS	0,64	0,59	0,06	0,87

A tabela 5.49, demonstra que a melhor solução, tendo em conta a análise de desempenho efetuada, é a de betão leve, no entanto, é importante ter em consideração que nem todas as soluções se adequam ao mesmo uso, pelo que aquando da seleção de um material, é importante ter isso em consideração.

Tabela 5.50 - Nível de desempenho global dos revestimentos de cobertura

	Revestimento de cobertura	
Indicador normalizado	Chapa de zinco	Telha cerâmica
Ambiental	0,43	0,57
Económico	0	0,88
Funcional	3,43E-04	1
NS	0,22	0,74

Ao examinar a tabela 5.50, pode-se dizer, sem sombra de dúvida, que a melhor opção é a telha cerâmica, pois apresenta um nível de sustentabilidade global bastante superior.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões que foram possíveis retirar com a realização deste trabalho, e alguns dos possíveis desenvolvimentos futuros no campo de ação desta dissertação.

Com a presente dissertação foi possível desenvolver conhecimentos no âmbito do desempenho (ambiental, económico e funcional) de elementos construtivos e materiais.

Ao abordar e alcançar os objetivos propostos no primeiro capítulo, foi possível:

- Entender a importância de realizar uma análise multicritério, quando se quer avaliar a sustentabilidade de diferentes soluções;
- Perceber quais as potenciais formas de tornar um elemento construtivo mais sustentável, sem comprometer as condições que este proporciona;
- Desenvolver uma perceção dos custos associados à execução de certas soluções construtivas;
- Entender a importância dos indicadores funcionais, aquando de uma análise de desempenho;
- Desenvolver conhecimentos de exigências funcionais, e regras de execução, nomeadamente de reação ao fogo de isolantes térmicos em diferentes elementos construtivos.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo por base o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, existem certos aspetos que podem ser melhorados e aprofundados. No seguimento desse raciocínio, propõem-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Seleção e utilização de mais indicadores funcionais, que permitam tornar este tipo de análise mais equilibrada, isto é, que permita comparar, com maior viabilidade, soluções construtivas nas três dimensões de sustentabilidade;
- Efetuar uma análise mais compartimentada das soluções, isto é, subdividir as diferentes soluções em categorias de utilização. Por exemplo, na análise de pavimentos, compartimentar os diferentes pavimentos por locais de utilização;
- No caso dos materiais, individualmente estudados, utilizar uma escala mais alargada para a normalização dos indicadores, que tornem estes mesmo indicadores mais viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kibert, Charles J. *Sustainable construction: green Building design and delivery*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Estados Unidos da América, 2005.
- [2] WCED. *Our common future*, World Commission on Environment and Development, p. 43, 1987.
- [3] Kotaji S., Schumans A., Edwards S. *Life-cycle assessment in building and construction: a state of the art report*. SETAC, 2003.
- [4] Bragança L., Mateus R. *Avaliação do ciclo de vida de edifícios – impacte ambiental de soluções construtivas*. Multicomp, Portugal, 2011.
- [5] <http://www.geradordeprecos.info/>. 10/12/2020.
- [6] <https://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/isolamentos-termicos-novo/poliestireno-expandido-novo/placas-eps/>. 23/12/2020.
- [7] <https://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/isolamentos-termicos/la-de-rocha/>. 23/12/2020.
- [8] <https://casaconstrucao.org/materiais/la-de-vidro/>. 23/12/2020.
- [9] <https://pt.topeca.pt/catalogo/isolamentos-termicos-e-acusticos/argamassas2/isolamento-cortica/placa-de-cortia.html>. 30/12/2020.
- [10] <https://www.focuspoliuretano.com.br/produto/placas-de-poliuretano/placas-de-poliuretano>. 30/12/2020.
- [11] <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-tijolo-ceramico-perfurado.html>. 30/12/2020.
- [12] <https://orcamentos.eu/precos-de-blocos-de-betao-e-de-leca/>. 30/12/2020.
- [13] <https://www.desenvolmente.com/wall-stone.html>. 30/12/2020.
- [14] https://www.armazensreis.pt/pt/coberturas/chapa-de-zinco-ondulada-n28_p8371.html. 30/12/2020.
- [15] <http://portaldamadeira.blogspot.com/2010/02/composito-madeira-cimento-em-que.html>. 30/12/2020.
- [16] <http://covema.pt/pt/produtos/pavimentos/soalho-em-madeira/>. 30/12/2020.
- [17] https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Pavimentos-revestimentos/Pavimentos-ceramicos/Pavimento-ceramico-pedra-granito/WPR_REF_17037076. 11/01/2021.
- [18] <https://www.leca.pt/produtos/pre-misturados/lecar-uno/>. 30/12/2020.
- [19] <https://www.ceramicatorreense.pt/pt/telhados/telha-lusa/>. 30/12/2020.
- [20] <https://www.acermi.com/en/certified-insulation-products/certificate/06-007-430-12/>. 16/12/2020.
- [21] <https://www.acermi.com/en/certified-insulation-products/certificate/04-048-331-9/>. 16/12/2020.
- [22] <https://www.acermi.com/en/certified-insulation-products/certificate/02-016-128-11/>. 16/12/2020.
- [23] <https://www.acermi.com/en/certified-insulation-products/certificate/13-173-881-3/>. 16/12/2020.
- [24] <https://www.acermi.com/en/certified-insulation-products/certificate/03-049-270-16/>. 16/12/2020.
- [25] *Tabelas Diversas*. <http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/ee/Tabelas.pdf>. 31/12/2020

- [26]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0 1 1|1|RBA010|rba 010:c8 0 1c3 0 19 1c4 0 1c8 0 10 0|hoja exterior vista sys: 0, 21/12/2020.
- [27]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0 0 1 0 0 0|0|FSR010|fsr 0 10: 0 0 1 50c14 0 5 5c4 0 10c11 0|hoja exterior revest sys: 0, 21/12/2020.
- [28]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas_divisoes_e_proteccoes/Fachadas_ETICS/FSM_Revestimento_continuo_mineral_FSM010_Sistema_ETICS_de_isolamento_termico.html, 21/12/2020.
- [29]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas_divisoes_e_proteccoes/Fachadas_ETICS/FSR_Pano_principal_de_alvenaria_pa.html, 21/12/2020.
- [30]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/RB_Argamassas_industriais_para_re/Argamassa_de_cal/RBA040_Camada_de_argamassa_de_cal_sobre_pa.html, 21/12/2020.
- [31]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2|0 0 1 0 0 0|0|FFR010|ffr 0 10:c3 0 1 0 50c14 0 5 5c4 0 10c10 0|hoja interior fachada sys: 0, 21/12/2020.
- [32]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=3|0 0 0 1|2|NAF021|naf 021: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0, 21/12/2020.
- [33]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1 0 1|0 0 1|2|FFZ010|ffz 010: c4 0 50 0 0 1c11 0 5 5c8 0 10c10 0|hoja exterior revest sys: 0, 21/12/2020.
- [34]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/RB_Argamassas_industriais_para_re/Argamassa_de_cal/RBA010_Camada_de_argamassa_de_cal_sobre_pa.html, 21/12/2020.
- [35]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0 1 0 0|0|FFX015|ffx 015: 0 50 0 0 1 0 2c13 0 1 0 0 1c9 0 10c4 0 5 0|hoja exterior vista sys: 0, 21/12/2020.
- [36]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Isolamentos_termicos/Fachadas_e_paredes_meeiras/NAF020_Isolamento_termico_pelo_interior_do.html, 21/12/2020.
- [37]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0 0 1 0 0 0|0|FAR010|far 0 10: 0 0 1 50c14 0 5 5c4 0 10c11 0|hoja exterior revest sys: 0, 21/12/2020.
- [38] República, D.d., *Portaria nº 1532/2008*. Ministério da Administração Interna, Portugal, 2008.
- [39]
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0 0 1 2 3 4|0 0 0|0|NAQ010|naq 010: 0 0 4 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0|hoja exterior vista sys: 0, 21/12/2020.

[40]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas_divisoas_e_proteccoes/Fachadas_ventiladas/FAV010_Revestimento_exterior_de_fachada_ve.html. 21/12/2020.

[41]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/Tectos_falsos/RTC_Continuos_de_placas_de_gesso_RTC015_Tecto_falso_continuo_de_placas_de_g.html. 21/12/2020.

[42]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2_3_4|1_0_0|NBT010|rt_altura_falso_techo: 0|nbt_010: 0_0_0_1_0_0_0_0_0_0. 21/12/2020.

[43]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=10|0_0_2_0_0_0_1|EHU024|ehu_024_forjado:c9_0_1_0_1_0_5_0_0|hormigon%20forjado_unid:c6_0_1c11_0_1_0_5|ehu_cuvo_sin_pilares_vigas: 0_0_1000_0|acero%20forjado_unid: 0_0_0_0_0_0_0_0|mallazo_estructuras: 0_0_3_0_0|enc_ehu_024: 0_0_1_0_0_0_0_18_0_100_5_0_0|hor_curado%20hormigon: 1_0_0_0. 21/12/2020.

[44]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Isolamentos_termicos/Pavimentos_flutuantes/NAL030_Isolamento_termo-acustico_de_pavime_0_0_0_0_0_0_0_6_0_0_0.html. 21/12/2020.

[45]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/Descontinuos/De_betao/RCH010_Revestimento_com_lajetas_pre-fabric_0_0_0_0_1_1_0.html. 21/12/2020.

[46]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=20|2_0|EHL010|ehl_cuvo%20sin_soportes: 0|tipo_losa: 0|ehl_altplant: 0_16_0|hormigon%20losa:c6_0_1c11_0_1_0_5|ehl_cuantia%20sin_soportes: 0_1600_0|acero%20losa: 0_0_0_0_0_0_0_0|ehl_mallazo: 0_1_0_1_0|hor_separadores%20losas: 0_0_0_0_0_2_0_0|enc_ehl_010:c5_0_10_0_100_0_30_100c4_0_10|hor_curado%20hormigon: 1_0_0_0. 21/12/2020.

[47] http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Pre-fabricadas_de_betao/Lajes/EPF010_Laje_de_paineis_alveolares_pre-fabr.html.

21/12/2020.

[48]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=3|1_0_0_0_0|NBT010|rt_altura_falso_techo: 0|nbt_010: 0_0_0_2_0_0_0_0_0_0_0_0. 21/12/2020.

[49]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=13|0_0_1_0_0|EME020|eme_020:c19_0. 21/12/2020.

[50]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2|0_0_0_0|RSM021|rsm_021: 0_0_1_0_0_0_1_0_0_0_0_0_0_0_0_0. 21/12/2020.

[51]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/RB_Argamassas_industriais_para_re/Argamassa_de_cal/RBA040_Camada_de_argamassa_de_cal_sobre_pa.html?mradio_0000187C=on&mra

[dio_0000187D=on&mradio_0000187E=on&mradio_0000187F=on&mradio_00001880=on&mradio_00001881=on&mradio_00001882=on&mradio_00001883=on&mradio_00001884=on&mradio_00001885=on](#). 22/12/2020.

[52]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=4|0_0_0_0_2_0_0|QAD020|qad_020_021%20asfaltica:c3_0_1c3_0_1c9_0_1_0_0_1c30_0_5_0. 22/12/2020.

[53]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=4_0_1_2_3_4|0_0_0_0_0_2_0|QAB110|qab_110:c5_0_1c3_0_1c9_0_1_0_0_1c49_0_2_1_500_5c13_0. 22/12/2020.

[54]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=9|0_0_2_0_0_0_1|EHU024|ehu_024_forjado:c11_0_1_0_5_0_0|hormigon%20forjado_unid:c6_0_1c11_0_1_0_5|ehu_cuvo_sin_pilares_vigas:0_0_1000_0|acero%20forjado_unid:0_0_0_0_0_0_0_0|mallazo_estructuras:0_0_3_0_0|enc_ehu_024:0_0_1_0_0_0_0_18_0_100_5_0_0|hor_curado%20hormigon:1_0_0_0. 22/12/2020.

[55]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0_0_4_0_1|QAB110|qab_110:0_1_0_0_1c3_0_1c9_0_1_0_0_1c24_0_1c5_0_4c13_0_1c3_0.
http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0_1|RSB010|rsb_010:0_0_0_0_0_0_3_0_0_0_1_1_0_0_0. 22/12/2020.

[56]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0_0_0_0_0_6|QAD030|qad_030:0_0_1c5_0_1c9_0_1_0_0_1c24_0_1c5_0_4c19_0. 22/12/2020.

[57]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1|0_0_0|NEL040|nel_040:c8_0_1c18_0_1c6_0. 23/12/2020.

[58]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=10|0_0_0_0|EMC020|emc_020:c7_0_1_10c11_0_26_0_0. 23/12/2020.

[59]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Madeira/Estruturas_para_coberturas/Madre_de_madeira_serrada.html. 23/12/2020.

[60]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Madeira/Estruturas_para_coberturas/Barrote_de_madeira_serrada.html. 23/12/2020.

[61]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=10|0_0_0_0_0_0_0_1_0|NAN120|nan_120:c5_0_1c13_0. 23/12/2020.

[62]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2|0_0_1_0|QUT020|qut_020:0_0_0_0_5_5_1_2_0_1_0_0_0_0_0|cubiertas_inclinadas_sys:0. 23/12/2020.

[63]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2|0_0|QUT030|qut_030: 0_0_0_0_0_0_4_0_0_0_1_0, 23/12/2020.

[64]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=20|2_0|EHL010|ehl_cuvo%20sin_soportes: 0|tipo losa: 1|ehl_altplant: 0_16_0|hormigon%20losa:c6_0_1c11_0_1_0_5|ehl_cuantia%20sin_soportes: 0_1600_0|acero%20losa: 0_0_0_0_0_0_0_0|ehl_mallazo: 0_1_0_1_0|hor_separadores%20losas: 0_0_0_0_0_2_0_0|enc_ehl_010:c5_0_10_0_100_0_30_100c4_0_10|hor_curado%20hormigon: 1_0_0_0, 23/12/2020.

[65]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=5|0_0_0_0_0_1_0|3|NAN020|nan_020: 0_0_1_1c13_0_1_0, 23/12/2020.

[66]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=2|0_0_1|3|QUT030|qut_030: 0_2_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0, 23/12/2020.

[67]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/Descontinuos_ligeiros/Ceramicos.html, 24/12/2020.

[68]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Revestimentos/Descontinuos/De_pedra_natural.html, 24/12/2020

[69]

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Coberturas/QU_Componentes_de_coberturas_incl/De_chapas_de_zinco/QUZ010_Revestimento_de_cobertura_de_chapas_0_2_0_0_2_0_1_0_0_0_0_0_0.html, 24/12/2020.

[70] República, D.d., *Despacho (extrato) nº15793-k/2013*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e Energia, 2013.

[71] <http://www.itecons.uc.pt/projectos/siac17074/index.php?module=sec&id=182>, 03/01/2021

[72] PRECERAM, *Declaração de desempenho nº PR302022170610*. 10/06/2017.

https://preceram.pt/documentos/DOP_PR302022170610.pdf, 15/12/2020.

[73] PRECERAM, *Declaração de desempenho nº PR302011170610*. 10/06/2017.

https://preceram.pt/documentos/DOP_PR302011170610.pdf, 15/12/2020.

[74] PRECERAM, *Declaração de desempenho nº PR302015170610*. 10/06/2017.

https://preceram.pt/documentos/DOP_PR302015170610.pdf, 15/12/2020.

[75] Gândara, C. *Declaração de desempenho nº 02CVG121119*. 12/11/2019.

<http://www.valegandara.com/docs/FT%20-%20Maci%C3%A7o.pdf>, 27/12/2020.

[76] República, D. d., *dos Edifícios (RCCTE) - Decreto-lei nº80/2006 de 4 de abril*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Portugal, 2006

[77] <http://www.itecons.uc.pt/projectos/siac17074/index.php?module=sec&id=301>, 03/01/2021.

[78] Mendonça, P. *Habitar sob uma segunda pele: estratégia para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados* – Anexo 1. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005.

[79] PAVIPREL, *Ficha técnica de produto ref.: BL.50.20.15*. 29/10/2010.
<http://www.paviprel.pt/pdf/BL.50.20.15.pdf>. 03/01/2021.