



**Impacte ambiental comparado do ciclo de vida de  
soluções de impermeabilização de coberturas planas.  
Aplicação das soluções estudadas na reabilitação de  
infraestruturas militares**

**Miriana Gonçalves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Militar**

**Orientadores**

Professor Doutor José Dinis Silvestre

Professor Doutor Jorge Manuel Calição Lopes de Brito

**Júri**

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Professor Doutor José Dinis Silvestre

Vogal: Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Vogal: Tenente-Coronel de Engenharia Carlos Alberto Rocha Afonso

**Outubro de 2015**



## Resumo

As coberturas são um elemento fundamental na maioria dos edifícios. A evolução das técnicas e dos materiais, e das exigências funcionais e arquitetónicas, permitiram o aparecimento das coberturas planas. A evolução dos materiais e das técnicas fez também com que se começasse a ter em conta os impactes ambientais que a produção dos materiais a utilizar nos edifícios provocam.

Nesta dissertação, pretende-se fazer uma comparação do ciclo de vida de várias soluções de impermeabilização que se pode utilizar em coberturas planas, a nível ambiental. Existem atualmente declarações ambientais que auxiliam essa comparação, nomeadamente as Declarações Ambientais de Produto (DAP) individuais ou médias, que podem ser encontradas em bases de dados a nível Europeu. No entanto, também é possível encontrar dados relevantes para este tipo de estudos em bases de dados genéricas.

Depois de recolhidos os dados disponíveis, fez-se uma avaliação dos impactes ambientais de cada solução de impermeabilização. Teve-se em conta as categorias de impacte ambiental definidas e posteriormente tratou-se os dados das três categorias com mais relevância ambiental.

Após a recolha dos custos dos vários tipos de material de impermeabilização, fez-se ainda a avaliação económica. Nesta fase, foi necessário ter em conta que cada membrana apresenta uma durabilidade diferenciada, obrigando a substituições em momentos diferentes. Utilizou-se o Valor Atualizado Líquido para prever o custo do ciclo de vida das membranas, incluindo os custos de aquisição, de aplicação e de substituição.

Para finalizar, conciliou-se as avaliações ambiental e económica. Na vertente ambiental, teve-se em consideração apenas as duas categorias de impacte mais importante. Utilizando uma análise multicritério, foi possível ordenar as soluções de impermeabilização para cada tipologia de cobertura plana. No caso de estudo, propôs-se a aplicação da solução com melhor desempenho ambiental e económico, para determinado tipo de cobertura.

**Palavras-chave:** Cobertura, comparação, custos, DAP, impactes ambientais, impermeabilização.

## **Abstract**

Roofs are a key element in most buildings. The evolution of techniques, materials, and functional and architectural requirements, led to the emergence of flat roofs. The evolution of materials and techniques has also promoted the consideration of the environmental impacts caused by the production of the materials used in buildings.

This dissertation intends to make a comparison, at an environmental level, of the life cycle of several solutions for waterproofing that can be used in flat roofs. There are currently environmental declarations that support this comparison, in particular individual or medium Environmental Product Declarations (EPD), which can be found in databases at the European level. However, it is also possible to find relevant data for this type of studies in generic databases.

After collecting the available data, an assessment of the environmental impacts of each solution for waterproofing was completed. The categories of environmental impact defined were taken into account and subsequently the data of the three categories with more environmental relevance were treated.

After the collection of the costs of the various types of materials for waterproofing, an economic assessment was made. At that stage, it was necessary to consider that each membrane presents a different service life, forcing its replacement at different times. The Net Present Value was used to predict the life cycle cost of membranes, including the costs of acquisition, application and replacement.

Finally, an integrated environmental and economic assessment was made. On the environmental side, only the two more important categories of impact were taken into account. Using a multi-criteria analysis, it was possible to sort the solutions for waterproofing for each type of flat roof. In the case study, the implementation of the solution with better environmental and economic performance, for a given type of flat roof, was proposed.

**Key-words:** Roof, comparison, costs, EPD, environmental impacts, waterproofing.

## Agradecimentos

Antes de mais, quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação:

- ao Professor Doutor José Dinis Silvestre, orientador científico desta dissertação, a oportunidade de a realizar e a orientação constante ao longo da elaboração deste trabalho;
- ao Professor Doutor Jorge Manuel Calição Lopes de Brito, coorientador da dissertação, por todas as sugestões, correções, disponibilidade e acompanhamento fornecido;
- ao Tenente-Coronel Engenharia Raúl Gomes, do Exército Português, pelo enquadramento ao tema e pelo incentivo e apoio constantes;
- ao Tenente-Coronel Engenharia Rocha Afonso, do Exército Português, pelo acompanhamento e esclarecimento de dúvidas, inicialmente por parte da Direção de Infraestruturas do Exército e posteriormente enquanto Diretor de Curso;
- aos produtores e fornecedores nacionais de materiais de impermeabilização, nomeadamente Imperialum, Sika, Liners e Danosa, pelo fornecimento dos dados necessários para a realização da dissertação;
- ao camarada Tito Marrana pelo auxílio e apoio mútuo e pela compreensão da sensação de falta de tempo;
- aos camaradas Bruno Poça e João Conceição, pelo empenho e trabalho realizado na pesquisa bibliográfica de apoio à dissertação;
- às minhas camaradas e amigas Nádia Bento, Ana Mesquita, Ana Fernandes e Marina Balinha, pela presença, compreensão e apoio constantes;
- à minha camarada e amiga Catarina Correia, com quem convivi nos últimos seis anos vinte e quatro horas por dia, cinco dias por semana, pela cumplicidade, incentivo e motivação;
- às minhas amigas de longa data Leandra Gomes, Estela Matos, Filipa Oliveira, Vanessa Machado e Sara Carneiro, por estarem sempre presentes, mesmo a centenas de quilómetros de distância. Sempre dispostas a pôr os seus problemas de parte, para ouvir os meus desabafos;
- ao meu mais recente amigo, Dzmitry Reuniutsau, que se tornou na pessoa com quem sei que posso desabafar a qualquer momento, sobre qualquer coisa, sempre com uma palavra de incentivo pronta a dizer, que muda completamente o meu estado de espírito;
- aos meus pais, pelo incentivo e paciência constantes e também por terem contribuído para a pessoa em que me tornei;
- aos meus irmãos, Jaime e Juca, para quem tento ser um exemplo, sempre prontos a alegrar-me e incentivar-me nos momentos mais difíceis;
- ao meu afilhado Tomás, por me fazer esquecer de todos os problemas e por tornar os meus dias melhores;
- ao Vasco Rijo, pela compreensão, motivação e companheirismo, nos bons e maus momentos, que se prolongará por bons e longos anos.

## Lista de siglas

ACV - avaliação do ciclo de vida  
AICV - avaliação do inventário de ciclo de vida  
APP - polipropileno-atático  
CFC - clorofluorcarboneto  
CFO - criação fotoquímica de ozono  
COV - compostos orgânicos voláteis  
CR-NR - consumo de recursos não-renováveis  
CR-R - consumo de recursos renováveis  
CV - ciclo de vida  
DAP - declaração ambiental de produto  
DCO - destruição da camada de ozono  
EPDM - monómero de etileno-propileno-dieno  
FPO - poliolefina termoplástica flexível  
HCFC - hidro- clorofluorcarboneto  
HDPE - polietileno de alta densidade  
ICV - inventário de ciclo de vida  
NEPD - Norwegian EPD Foundation  
ODS - substâncias depletoras de ozono (ozone depleting substances)  
PA - potencial de acidificação  
PAG - potencial de aquecimento global  
PDA - potencial de depleção abiótica  
PE - potencial de eutrofização  
PVC - policloreto de vinilo  
RCP - regras de categoria de produto (*PCR - product category rules*)  
SBS - estireno-butadieno-estireno  
TPO - poliolefina termoplástica  
VAL - valor atualizado líquido  
VaMe - valor médio

# Índice

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Introdução .....   | 1  |
| 1.1.   | Considerações Iniciais .....   | 1  |
| 1.2.   | Justificação e objetivo da dissertação.....  | 1  |
| 1.3.   | Metodologia de investigação.....   | 2  |
| 1.4.   | Organização da dissertação .....   | 2  |
| 2.     | Estado da Arte .....   | 5  |
| 2.1.   | Considerações Iniciais .....   | 5  |
| 2.2.   | Coberturas planas de edifícios.....  | 5  |
| 2.3.   | Impermeabilização de coberturas planas .....   | 8  |
| 2.4.   | Avaliação do ciclo de vida.....  | 11 |
| 2.5.   | Declaração ambiental de produto .....  | 12 |
| 2.6.   | Outras bases de dados de informação ambiental .....                                      | 13 |
| 2.7.   | Desempenho ambiental de materiais de impermeabilização .....                             | 13 |
| 3.     | Avaliação ambiental do ciclo de vida das soluções de impermeabilização.....              | 17 |
| 3.1.   | Categorias de impacte ambiental.....   | 17 |
| 3.1.1. | Potencial de aquecimento global (PAG) .....  | 17 |
| 3.1.2. | Potencial de acidificação (PA) .....   | 18 |
| 3.1.3. | Potencial de eutrofização (PE).....  | 18 |
| 3.1.4. | Potencial de destruição da camada de ozono (PDCO) .....                                  | 18 |
| 3.1.5. | Potencial de depleção abiótica (PDA).....  | 18 |
| 3.1.6. | Potencial de criação fotoquímica de ozono (PCFO).....                                    | 18 |
| 3.1.7. | Consumo de recursos energéticos renováveis (CRE-R) .....                                 | 19 |
| 3.1.8. | Consumo de recursos energéticos não-renováveis (CRE-NR).....                             | 19 |
| 3.2.   | Bases de dados utilizadas .....  | 19 |
| 3.3.   | Desempenho ambiental dos produtos de impermeabilização .....                             | 20 |
| 3.3.1. | Membrana betuminosa modificada .....   | 21 |
| 3.3.2. | Membrana sintética - PVC .....   | 26 |
| 3.3.3. | Membrana sintética - TPO/FPO .....   | 31 |
| 3.3.4. | Membrana sintética - EPDM .....  | 35 |
| 4.     | Avaliação do custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização.....               | 40 |
| 4.1.   | Metodologia de avaliação dos custos do ciclo de vida .....                               | 40 |
| 4.2.   | Custo do Ciclo de Vida de cada solução de impermeabilização .....                        | 40 |
| 4.2.1. | Membrana betuminosa aditivada .....  | 41 |
| 4.2.2. | Membrana sintética - PVC .....   | 45 |
| 4.2.3. | Membrana sintética - TPO/FPO .....   | 48 |
| 4.2.4. | Membrana sintética - EPDM .....  | 52 |
| 5.     | Avaliação do ciclo de vida económico e ambiental das soluções de impermeabilização ..... | 55 |
| 5.1.   | Metodologia de avaliação do ciclo de vida económico e ambiental.....                     | 55 |
| 5.2.   | Avaliação do desempenho ambiental .....  | 55 |
| 5.3.   | Avaliação do ciclo de vida ambiental e económico.....                                    | 57 |

|  |    |
|--|----|
| 5.3.1. Cobertura não acessível, tradicional.....   | 59 |
| 5.3.2. Cobertura não acessível, invertida.....   | 60 |
| 5.3.3. Cobertura acessível, tradicional.....   | 62 |
| 5.3.4. Cobertura acessível, invertida.....   | 63 |
| 5.4. Caso de estudo - seleção das soluções mais adequadas na reabilitação de<br>infraestruturas militares..... | 64 |
| 5.4.1. Cobertura não acessível, tradicional.....   | 65 |
| 5.4.2. Cobertura não acessível, invertida.....   | 67 |
| 5.4.3. Cobertura acessível, tradicional.....   | 67 |
| 5.4.4. Cobertura acessível, invertida.....   | 68 |
| 6. Conclusões.....   | 69 |
| 6.1. Conclusões gerais.....  | 69 |
| 6.2. Perspetivas de desenvolvimento futuro .....   | 70 |
| Referências bibliográficas.....  | 72 |



## Índice de figuras

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Figura 1 - Exemplo de cobertura em terraço .....  | 6                                   |
| Figura 2 - Cobertura tradicional.....   | 7                                   |
| Figura 3 - Cobertura invertida .....  | 8                                   |
| Figura 4 - Exemplo de membrana betuminosa .....   | 9                                   |
| Figura 5 - Exemplo de membrana sintética .....  | 10                                  |
| Figura 6 - Exemplo de membrana líquida .....  | 10                                  |
| Figura 7 - Exemplo de membrana de base cimentícia .....   | 11                                  |
| Figura 8 - Módulos de informação do desempenho ambiental de um edifício a partir das suas etapas do ciclo de vida .....   | 12                                  |
| Figura 9 - Tipos de conjuntos de dados de ACV existentes .....  | 14                                  |
| Figura 10 - Impactes ambientais após normalização de <i>Bitumen sealing V60</i> .....   | 20                                  |
| Figura 11 - PAG (a azul, kg eq CO <sub>2</sub> ), PA (a vermelho, kg eq SO <sub>2</sub> *10 <sup>-2</sup> ), CRE-NR (a verde, MJ*10 <sup>2</sup> ), com desvio-padrão incluído no VaMe.....       | 24                                  |
| Figura 12 - CRE-NR (em abcissas, *10 <sup>2</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO <sub>2</sub> ), em que cada ponto representa os valores de PA (*10 <sup>-2</sup> kg eq SO <sub>2</sub> ) ..... | 25                                  |
| Figura 13 - PAG (a azul, kg eq CO <sub>2</sub> ), PA (a vermelho, kg eq SO <sub>2</sub> *10 <sup>-2</sup> ), CRE-NR (a verde, MJ*10 <sup>1</sup> ), com desvio-padrão incluído no VaMe.....       | 30                                  |
| Figura 14 - CRE-NR (em abcissas, *10 <sup>1</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO <sub>2</sub> ), em que cada ponto representa os valores de PA (*10 <sup>-2</sup> kg eq SO <sub>2</sub> ) ..... | 30                                  |
| Figura 15 - PAG (a azul, kg eq CO <sub>2</sub> ), PA (a vermelho, kg eq SO <sub>2</sub> *10 <sup>-3</sup> ), CRE-NR (a verde, MJ*10 <sup>1</sup> ), com desvio-padrão incluído no VaMe.....       | <b>Erro! Marcador não definido.</b> |
| Figura 16 - CRE-NR (em abcissas, *10 <sup>1</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO <sub>2</sub> ), em que cada ponto representa os valores de PA (*10 <sup>-3</sup> kg eq SO <sub>2</sub> ) ..... | 35                                  |
| Figura 17 - PAG (a azul, kg eq CO <sub>2</sub> ), PA (a vermelho, kg eq SO <sub>2</sub> *10 <sup>-2</sup> ), CRE-NR (a verde, MJ*10 <sup>2</sup> ), com desvio-padrão incluído no VaMe.....       | 38                                  |
| Figura 18 - CRE-NR (em abcissas, *10 <sup>2</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO <sub>2</sub> ), em que cada ponto representa os valores de PA (*10 <sup>-2</sup> kg eq SO <sub>2</sub> ) ..... | 38                                  |
| Figura 19 - Aplicação das camadas superior e inferior na mesma direção .....  | 42                                  |
| Figura 20 - Aplicação das camadas superior e inferior em direções perpendiculares .....   | 42                                  |
| Figura 21 - Custos atualizados de aquisição para a opção B2 (€/m <sup>2</sup> ).....  | 44                                  |
| Figura 22 - Termossoldadura a ar quente da membrana sintética de PVC .....  | 46                                  |
| Figura 23 - Custos atualizados de aquisição para a opção PVC1 (€/m <sup>2</sup> ).....  | 47                                  |
| Figura 24 - Exemplo de aplicação da membrana sintética de TPO/FPO .....   | 49                                  |
| Figura 25 - Custos atualizados de aquisição para a opção TPO2 (€/m <sup>2</sup> ).....  | 51                                  |
| Figura 26 - Exemplo de aplicação da membrana sintética de EPDM.....   | 52                                  |
| Figura 27 - Custos atualizados de aquisição para a opção EPDM2 (€/m <sup>2</sup> ).....   | 54                                  |
| Figura 28 - Cobertura não acessível, tradicional .....  | 58                                  |
| Figura 29 - Cobertura não acessível, invertida .....  | 58                                  |
| Figura 30 - Cobertura acessível, tradicional .....  | 59                                  |

|  |    |
|--|----|
| Figura 31 - Cobertura acessível, invertida .....   | 59 |
| Figura 32 - PAG (em abcissas, kg eq CO <sub>2</sub> ) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ), para soluções de impermeabilização de coberturas com acesso limitado do tipo tradicional .....   | 60 |
| Figura 33 - PAG (em abcissas, kg eq CO <sub>2</sub> ) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ), para soluções de impermeabilização de coberturas com acesso limitado do tipo invertido.....      | 61 |
| Figura 34 - PAG (em abcissas, kg eq CO <sub>2</sub> ) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ), para soluções de impermeabilização de coberturas acessíveis a pessoas, do tipo tradicional ..... | 63 |
| Figura 35 - PAG (em abcissas, kg eq CO <sub>2</sub> ) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ), para soluções de impermeabilização de coberturas acessíveis a pessoas, do tipo invertido .....   | 64 |

## Índice de tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Classificação das coberturas, quanto à pendente .....   | 6  |
| Tabela 2 - Classificação das coberturas quanto à acessibilidade. ....  | 7  |
| Tabela 3 - Caracterização das bases de dados de DAP .....  | 15 |
| Tabela 4 - Caracterização das bases de dados genéricas .....   | 15 |
| Tabela 5 - Relação de conjunto de dados de ACV disponíveis .....   | 16 |
| Tabela 6 - Categorias de impactes presentes em cada base de dados.....   | 19 |
| Tabela 7 - Dados disponíveis para membranas betuminosas .....  | 21 |
| Tabela 8 - Caraterização das bases de dados com conjuntos de dados de membranas de impermeabilização betuminosas.....  | 21 |
| Tabela 9 - Dados necessários para permitir a verificação da consistência .....   | 22 |
| Tabela 10 - Dados que permitem a verificação da representatividade.....  | 23 |
| Tabela 11 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas betuminosas.....  | 26 |
| Tabela 12 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de PVC.....  | 27 |
| Tabela 13 - Caraterização das bases de dados com DAP de membranas sintéticas de PVC ..   | 27 |
| Tabela 14 - Dados necessários para verificar a consistência.....   | 28 |
| Tabela 15 - Dados que permitem a verificação da representatividade.....  | 28 |
| Tabela 16 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de PVC.....  | 31 |
| Tabela 17 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de TPO/FPO .....   | 31 |
| Tabela 18 - Caraterização das bases de dados de DAP que incluem membranas sintéticas de TPO/FPO.....   | 32 |
| Tabela 19 - Dados necessários para verificar a consistência.....   | 32 |
| Tabela 20 - Dados que permitem a verificação da representatividade.....  | 33 |
| Tabela 21 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de TPO/FPO .....   | 35 |
| Tabela 22 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de EPDM.....   | 36 |
| Tabela 23 - Caraterização das bases de dados com DAP de membranas sintéticas de EPDM   | 36 |
| Tabela 24 - Dados necessários para verificar a consistência.....   | 36 |
| Tabela 25 - Dados que permitem a verificação da representatividade.....  | 37 |
| Tabela 26 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de EPDM.....   | 39 |
| Tabela 27 - Informação relativa às soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas.....  | 43 |
| Tabela 28 - Custo de atualizado de aquisição das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada ..... | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 29 - Custo atualizado de aquisição das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas autoprotégidas ou com proteção leve (seixo rolado) em sistemas tradicionais..... | 43 |
| Tabela 30 - Custo atualizado de aplicação das membranas betuminosas, em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada.....  | 44 |
| Tabela 31 - Custo atualizado de aplicação das membranas betuminosas autoprotégidas ou com proteção leve (seixo rolado) em sistemas tradicionais .....  | 44 |
| Tabela 32 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas, durante 50 anos .....  | 45 |
| Tabela 33 - Informação relativa às membranas sintéticas de PVC em estudo .....   | 46 |
| Tabela 34 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de PVC em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada.....   | 47 |
| Tabela 35 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de PVC em coberturas de acesso limitado, tradicionais .....   | 47 |
| Tabela 36 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de PVC em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada .....   | 48 |
| Tabela 37 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de PVC em coberturas de acesso limitado, tradicionais .....  | 48 |
| Tabela 38 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de PVC, durante 50 anos .....  | 48 |
| Tabela 39 - Informação relativa às membranas sintéticas de TPO/FPO.....  | 49 |
| Tabela 40 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de TPO/FPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada .....  | 50 |
| Tabela 41 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de TPO/FPO, sem proteção .....  | 50 |
| Tabela 42 - Custo atualizado de aplicação das membranas sintéticas de TPO/FPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada .....  | 51 |
| Tabela 43 - Custo atualizado de aplicação das membranas sintéticas de TPO/FPO, sem proteção .....  | 51 |
| Tabela 44 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de TPO/FPO, durante 50 anos .....  | 51 |
| Tabela 45 - Informação relativa às membranas sintéticas de EPDM .....  | 53 |
| Tabela 46 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de EPDM, com proteção pesada .....  | 53 |
| Tabela 47 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de EPDM, sem proteção .....   | 53 |
| Tabela 48 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de EPDM, com proteção pesada ..  | 54 |
| Tabela 49 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de EPDM, sem proteção .....  | 54 |
| Tabela 50 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de EPDM, durante 50 anos .....   | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 51 - Valores médios dos impactes ambientais para a produção de 1 kg de cada tipo de membrana .....   | 56 |
| Tabela 52 - Valores dos impactes ambientais para a produção de um kg e de um metro quadrado de solução de impermeabilização .....                                   | 56 |
| Tabela 53 - Valores de PAG e CRE-NR para um ciclo de vida de 50 anos .....  | 57 |
| Tabela 54 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas de acesso limitado, do tipo tradicional .....  | 60 |
| Tabela 55 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas de acesso limitado, do tipo invertido .....    | 61 |
| Tabela 56 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas acessíveis a pessoas, do tipo tradicional..... | 62 |
| Tabela 57 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas acessíveis a pessoas, do tipo invertida.....   | 63 |
| Tabela 58 - Análise multicritério para cada tipo de solução de impermeabilização .....  | 66 |
| Tabela 59 - Análise multicritério para cobertura não acessível, tradicional.....  | 66 |
| Tabela 60 - Análise multicritério para cobertura não acessível, invertido .....   | 67 |
| Tabela 61 - Análise multicritério para cobertura acessível, tradicional.....  | 68 |
| Tabela 62 - Análise multicritério para cobertura acessível, invertido.....  | 68 |



# **1. Introdução**

## **1.1. Considerações Iniciais**

A construção de um edifício envolve variadas componentes com um objetivo em comum: tornar o edifício habitável. Uma componente essencial de um edifício é a cobertura. Um dos elementos importantes numa cobertura em terraço, é a impermeabilização, pois deve garantir o cumprimento das exigências de segurança e a conservação da qualidade dos elementos que protege, de modo a possibilitar um bom desempenho por parte da cobertura (GONÇALVES, 2005).

A produção dos materiais de impermeabilização é um processo que envolve o consumo de matérias-primas e o seu tratamento até se tornarem no produto pretendido. Esse tratamento, além do consumo dos recursos naturais, implica também emissões para o ar e água, principalmente. No entanto, o tema da sustentabilidade na construção é cada vez mais popular, aumentando assim as preocupações com as questões ambientais (FERREIRA, 2012).

Uma das formas de tornar estes materiais mais apelativos é através da certificação ambiental. Existem três tipos de declarações ambientais: rótulos ambientais, auto-declarações e declarações ambientais de produto. O último tipo de declaração tem como função, além de “fornecer informação sobre o seu desempenho ambiental, encorajar a oferta e a procura de produtos com menores impactes ambientais ao longo da sua vida” (SILVESTRE, 2010).

No momento de escolha de um determinado material para utilizar num edifício, existem seis grandes fatores que influenciam a escolha: economia, estética, segurança, durabilidade, funcionalidade e ambiente. Atualmente, o fator mais importante na construção nacional ainda é a economia, continuando o fator ambiental a ser quase desprezado (MATEUS, 2006).

## **1.2. Justificação e objetivo da dissertação**

Nos últimos tempos, tem-se notado uma crescente preocupação com o Ambiente e a forma como são utilizados os recursos naturais. Esta preocupação deve-se em parte ao facto de se ter chegado à conclusão de que o ritmo de produção de recursos naturais é mais lento do que o ritmo de consumo desses mesmos materiais. Esta constatação poderá ter como consequência que um dia haja escassez de alguns desses recursos.

No entanto, esse não é o único problema. Depois de processados os recursos, são produzidos os materiais usados correntemente. Esses materiais têm uma determinada vida útil, ao fim da qual devem ser processados. Todo o processo, desde a extração dos recursos naturais até ao tratamento do fim de vida, envolve emissões prejudiciais para o ambiente.

Nesta dissertação, pretende-se avaliar o impacte ambiental da produção de alguns desses materiais, nomeadamente dos materiais utilizados na impermeabilização de coberturas planas. A escolha deste tema é pertinente devido ao facto de as coberturas planas terem sido utilizadas com mais frequência nas construções recentes em detrimento das coberturas inclinadas. Além disso, a impermeabilização das coberturas planas é um dos fatores mais impor-

tantes na sua execução, uma vez que a estanqueidade da cobertura depende do desempenho dessa camada.

Este tema tem utilidade para os edifícios do Exército, uma vez que as construções mais recentes já possuem coberturas planas.

O resultado foi um quadro comparativo das várias soluções de impermeabilização, para cada tipo de cobertura definida, em termos de custo e impactes ambientais ao longo do ciclo de vida de cada solução e, posteriormente, um artigo em revista internacional.

De todas as soluções para impermeabilização de coberturas planas existentes, decidiu-se estudar as seguintes: membranas betuminosas (aditivadas e modificadas); membranas sintéticas - policloreto de vinilo (PVC), poliolefina termoplástica (TPO), polietileno de alta densidade (HDPE) e monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM); membranas líquidas (betuminosas, acrílicas, epóxicas e poliuretano) e membranas de base cimentícia (monocomponente e bicomponente).

### **1.3. Metodologia de investigação**

A metodologia de investigação utilizada nesta dissertação foi a seguinte:

- estudo e definição das fases relevantes para o ciclo de vida de cada um dos materiais mais utilizados atualmente na impermeabilização de coberturas planas, de acordo com as normas europeias mais recentes;
- balanço da informação disponível a nível nacional e internacional em estudos de investigação e bases de dados relativas ao desempenho ambiental destes materiais nas fases do ciclo de vida escolhidas;
- recolha de informação relevante em empresas nacionais que complemente a informação recolhida na tarefa anterior;
- avaliação ambiental do ciclo de vida comparada de materiais de impermeabilização de coberturas planas, através da utilização de *software* específico e de informação recolhida nas tarefas anteriores, incluindo a sua eventual adaptação para o mercado nacional. Nesta tarefa, foi aplicada uma metodologia adequada para a seleção de conjuntos de dados de ACV coerentes para serem usados como genéricos no contexto nacional;
- estimativa do custo no ciclo de vida dos materiais de impermeabilização de coberturas planas através de dados do mercado.

No final, foi construído um quadro comparativo destes materiais, para cada tipo de cobertura definida, em termos de custo e impactes ambientais no ciclo de vida. Os resultados resumidos neste mapa servirão de base para a escolha da solução de impermeabilização de cobertura plana, na reabilitação de infraestruturas militares.

### **1.4. Organização da dissertação**

A dissertação é composta por seis capítulos, descritos a seguir:



## **1. Introdução**

Neste capítulo, são feitas considerações iniciais e apresentados a justificação e os objetivos da dissertação. É também apresentada a metodologia de investigação e uma breve descrição da estrutura da dissertação. Resume-se o estado de arte, incluindo uma breve exposição dos avanços feitos até hoje no âmbito de impermeabilizações utilizadas em coberturas planas e igualmente na avaliação do ciclo de vida destas soluções. Neste capítulo, é ainda referida a componente inovadora deste tema.

## **2. Estado-da-arte**

Este capítulo serve essencialmente para referir os aspetos importantes das soluções de impermeabilização em estudo. É também dada ênfase às exigências funcionais requeridas às soluções de impermeabilização. Serve ainda para expor o significado de impacto ambiental e a sua relação com o ciclo de vida dos materiais. É dada ênfase ao carácter inovador da dissertação.

Neste capítulo, também se apresenta uma relação do tipo de impermeabilização utilizada nas coberturas planas do edificado militar.

## **3. Avaliação ambiental do ciclo de vida das soluções de impermeabilização**

Este capítulo inclui a apresentação dos dados recolhidos durante a fase da investigação. Faz-se uma exposição das diversas Declarações Ambientais de Produto e de outras bases de dados de desempenho ambiental. É depois utilizada uma metodologia adequada para a seleção de conjuntos de dados de desempenho ambiental coerentes para serem usados como genéricos no contexto nacional para cada solução de impermeabilização.

## **4. Avaliação do custo no ciclo de vida das soluções de impermeabilização**

Neste capítulo, faz-se uma pesquisa de mercado para recolher dados relativos aos custos de aquisição e aplicação das soluções de impermeabilização em estudo. É ainda definida a unidade funcional do estudo, e os custos do ciclo de vida de cada solução são calculados tendo em conta sua durabilidade e a unidade funcional definida.

## **5. Avaliação do ciclo de vida económico e ambiental das soluções de impermeabilização**

Neste capítulo, é feita uma comparação a nível económico e ambiental das várias soluções. De modo a ter resultados mais fiáveis e úteis, definiu-se quatro tipologias de coberturas planas. Para cada tipologia, foram comparadas as soluções de impermeabilização, a nível económico e ambiental. No caso de estudo, demonstrou-se como é possível basear a escolha da solução de impermeabilização, em função desta comparação.

## **6. Conclusões**

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas da dissertação.

São também apresentadas algumas ideias para desenvolvimentos futuros.

### **Referências bibliográficas**

São aqui apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração da dissertação.

## 2. Estado da Arte

### 2.1. Considerações Iniciais

Desde o início dos tempos que o Homem descobriu que para sobreviver não bastava caçar e defender-se dos animais. Os fatores meteorológicos, nomeadamente a chuva, a neve, o vento, entre outros, foram os motivos que levaram a que os abrigos dos antepassados necessitassem também de algo que os protegesse desse tipo de ações. Foi nesse momento que apareceram as coberturas, um pouco diferentes das que são utilizadas nos dias de hoje, mas com a mesma função (OLIVEIRA, 2009).

Nos primórdios da civilização, o material mais utilizado nas coberturas era a madeira uma vez que abundava na época e não existiam muitas alternativas. No entanto, as necessidades do Homem foram evoluindo, existindo hoje coberturas com as mais variadas formas e constituições (OLIVEIRA, 2009).

No que diz respeito às coberturas inclinadas, os materiais utilizados são mais duráveis e mais resistentes às variações térmicas e meteorológicas, oferecendo por isso maior conforto. Além disso, permitem um espaço extra devido à inclinação. No entanto, os materiais utilizados, o próprio *design* e a mão-de-obra necessária aumentam significativamente os custos desta solução, quando comparada com as coberturas planas. Estes materiais, além de aumentarem os custos, aumentam também o peso da cobertura (ASPHALT, 2013).

As coberturas planas, por usarem materiais diferentes e em menor quantidade (colocados normalmente em camadas finas), acabam por ter custos inferiores. Além disso, a aplicação dos materiais é mais fácil e menos morosa. No entanto, os efeitos da manutenção necessária inerente a estas coberturas podem sobrepor-se às vantagens (ASPHALT, 2013). As coberturas planas estão sujeitas a processos de degradação acelerados, podendo a sua impermeabilidade ficar deficiente, devendo por isso realizar-se inspeções de rotina, de modo a identificar e corrigir o problema, o mais cedo possível (WALTER, 2005).

### 2.2. Coberturas planas de edifícios

“A cobertura em terraço de um edifício é o conjunto de todos os elementos, não só os estruturais, desde o teto do espaço subjacente à superfície exposta às intempéries, dispostos em camadas horizontais ou próximo desta posição que, pelas suas características, permitem dar satisfação às principais exigências a que devem satisfazer as coberturas.” (ALVES, 2013) Na Figura 1, é apresentado um exemplo de uma cobertura em terraço. Esta cobertura pode ser constituída pelos seguintes componentes, pela ordem de colocação: laje, betão leve com cortiça, barreira pára-vapor, aglomerado de cortiça expandida, impermeabilização, camada geotêxtil, betonilha e acabamento final.

As coberturas planas, ao contrário das coberturas tradicionais são muitas vezes, visitáveis. Uma vez que são visitáveis, tornam-se num local que pode ser utilizado sem que seja necessário ocupar mais espaço no plano térreo. Um local que teria apenas a função de proteger o edifício de

fatores meteorológicos passa a ter outras utilizações, nomeadamente de lazer (TIRONE, 2011).



**Figura 1 - Exemplo de cobertura em terraço (ISOCOR, 2011)**

Uma vez introduzido o tópico das coberturas planas, é essencial explicar a sua constituição. Uma cobertura em terraço tem os seus materiais numa posição horizontal ou com pouca inclinação. Qualquer cobertura em terraço tem obrigatoriamente os seguintes componentes (de baixo para cima): estrutura resistente, suporte e camada de impermeabilização, e proteção de revestimento. Além dos componentes referidos, pode conter ainda, opcionalmente: camada de regularização, camada de forma, barreira pára-vapor e camadas de isolamento térmico, difusão de vapor de água e dessolidarização (LOPES, 1994).

As coberturas planas podem agrupar-se em tipologias, tendo em conta algumas das suas características, como por exemplo: pendente, acessibilidade, revestimento de impermeabilização, posicionamento da camada de isolamento térmico, existência e tipo de proteção do revestimento de impermeabilização ou a estrutura resistente (ALVES, 2013).

A classificação das coberturas quanto à pendente depende do escoamento da água e da aplicação de proteção pesada. Dependendo das características de cada um dos fatores referenciados anteriormente, torna-se possível colocar as coberturas em quatro classes distintas apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação das coberturas, quanto à pendente (LOPES, 1994)**

| Classe     | Designação   | Inclinação |
|------------|--|------------|
| Classe I   | Coberturas cuja pendente origina a estagnação de água e permite a aplicação de proteção pesada                                       | 1%         |
| Classe II  | Coberturas cuja pendente permite o escoamento da água e a aplicação de proteção pesada   | 1 a 3%     |
| Classe III | Coberturas cuja pendente permite o escoamento fácil da água mas não possibilitam a aplicação de proteção pesada                      | 3 a 5%     |
| Classe IV  | Coberturas cuja pendente impõe necessidades especiais na aplicação das camadas, tal como utilização de fixações mecânicas adicionais | 5 a 15%    |

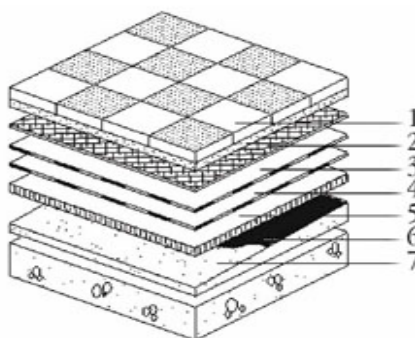
A classificação das coberturas quanto à acessibilidade justifica-se por cada solução ser projetado para um uso e acesso específico, mais ou menos restringido, como se pode observar na Tabela 2.

**Tabela 2 - Classificação das coberturas quanto à acessibilidade (LOPES, 1994)**

| Classe                          |          | Tipo de utilização  |
|---------------------------------|----------|---|
| Não acessíveis                  |          | Acesso limitado a trabalhos de manutenção ou reparação              |
| Acessíveis a pessoas            |          | Acesso limitado à circulação de pessoas                             |
| Acessíveis a pessoas e veículos | Ligeiros | Acesso limitado à circulação de pessoas e veículos ligeiros         |
|                                 | Pesados  | Acesso limitado à circulação de pessoas e veículos pesados          |
| Coberturas especiais            |          | Coberturas ajardinadas, equipamentos industriais ou de outros tipos |

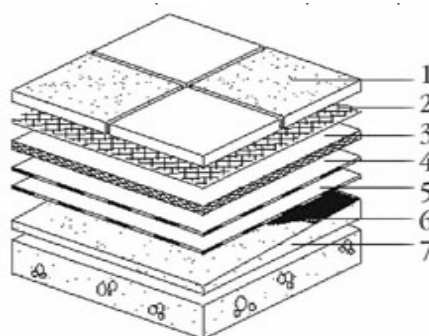
Outra forma de classificar as coberturas em terraço é através do tipo de revestimento de impermeabilização utilizado, fazendo-se a distinção entre revestimentos tradicionais e não tradicionais. Os revestimentos tradicionais são os tipos de revestimentos de impermeabilização que são utilizados correntemente, sendo as suas características, assim como o desempenho, conhecidas. Os revestimentos de impermeabilização não tradicionais são menos utilizados, não existindo por isso tanta informação acerca de características, desempenho e aplicação como no caso anterior. A utilização deste tipo de revestimento por vezes é acompanhado de estudos mais complexos, ou visitas a obras onde o material tenha sido utilizado (ANTÓNIO, 2011).

As coberturas planas podem ainda ser classificadas de acordo com a localização da camada de isolamento térmico. A camada de isolamento térmico tem localização intermédia se se situar entre a estrutura resistente e a camada de impermeabilização, como se pode observar na Figura 2, correspondendo a uma cobertura designada como “tradicional”. Se a camada de isolamento térmico se situar por cima da camada de impermeabilização, a cobertura designa-se por cobertura invertida, como se pode observar na Figura 3. A camada de isolamento térmico pode ainda colocar-se sob a estrutura resistente se for aplicada no interior do local a proteger (ALVES, 2013).



1. – Protecção pesada
2. – Separador em tecido de poliéster
3. – Membrana APP com armadura em poliéster e acabamento das duas faces em polietileno
4. – Membrana APP com armadura em fibra de vidro e acabamento das duas faces em polietileno
5. – Isolamento térmico
6. – Emulsão betuminosa como primário
7. – Camada de forma

**Figura 2 - Cobertura tradicional (CONSTRUIRONLINE, 2014)**



1. – Proteção pesada
2. – Separador em tecido de poliéster
3. – Isolamento térmico
4. – Membrana com armadura em poliéster e acabamento das duas faces em polietileno
5. – Membrana APP com armadura em fibra de vidro e acabamento das duas faces em polietileno
6. – Emulsão betuminosa como primário
7. – Camada de forma

**Figura 3 - Cobertura invertida (CONSTRUIRONLINE, 2014)**

O tipo de proteção do revestimento de impermeabilização, ou falta deste, é também uma forma de classificar as coberturas em terraço. Nos casos em que o material de impermeabilização não possui qualquer tipo de proteção, diz-se que a cobertura não tem proteção do revestimento de impermeabilização. Caso contrário, o revestimento de impermeabilização tem proteção, que pode ser leve ou pesada. A proteção leve pode ser aplicada: em fábrica, tomando a forma de areia fina, areão, gravilha ou lamelas de xisto, ou apresenta-se na forma de folha de alumínio ou plásticos na sua face superior; em obra, através da aplicação de tinta de alumínio, pintura com cal, areão ou gravilha solta. A proteção pesada é sempre aplicada em obra, podendo ser constituída por materiais soltos ou por camadas rígidas (ALVES, 2013).

Quando à estrutura resistente, as coberturas podem ser classificadas em rígidas ou flexíveis. A estrutura resistente considera-se flexível se as deformações relativas na direção perpendicular ao plano da cobertura forem significativas. Considera-se rígida se as deformações não forem significativas (RAPOSO, 2009).

Este tipo de coberturas tem certas vulnerabilidades, algumas das quais já referidas, que devem ser evitadas para melhorar o seu desempenho e para cumprir as exigências funcionais. Estas exigências são para os materiais constituintes da cobertura, assim como para a cobertura funcionando como um todo. As exigências a verificar são ao nível da segurança, habitabilidade, durabilidade e economia (ALVES, 2013).

### **2.3. Impermeabilização de coberturas planas**

Após esta breve introdução às coberturas planas, é possível incidir num dos componentes das coberturas: a camada de impermeabilização. Esta camada deve resistir a diferentes tipos de solicitações, nomeadamente: agentes atmosféricos (temperatura, raios ultravioleta, etc.), movimentos, de dilatação ou retração, de elementos constituintes da estrutura, e esforços de utilização provocados pela circulação de pessoas ou veículos (Les Couvertures, 1985 citado

por LAGES, 1994).

Os principais materiais utilizados para impermeabilização de coberturas planas, em Portugal, são: membranas betuminosas, membranas sintéticas, membranas líquidas e membranas de base cimentícia (POMBO, 2014).

As membranas betuminosas resultam de betume disposto em camadas, formando membranas. O betume é constituído por hidrocarbonetos e compostos diversos, como por exemplo enxofre, azoto e oxigénio, em quantidades menores (LOPES, 1994). Além das membranas betuminosas, as emulsões betuminosas são também utilizadas, mas apenas como primários aplicados antes da impermeabilização. A Figura 4 mostra um exemplo de uma membrana betuminosa.

Às membranas betuminosas podem-se adicionar polímeros com características benéficas para a impermeabilização. A este tipo de membranas dá-se o nome de membranas betuminosas modificadas por polímeros. Por vezes, ao betume é adicionado um polímero chamado estireno-butadieno-estireno (SBS). Este polímero tem propriedades elásticas podendo voltar à sua forma inicial depois de deformado. Tem um comportamento elástico à temperatura ambiente; no entanto, se aquecido, pode ser manuseado como um plástico (GINGA, 2008).



**Figura 4 - Exemplo de membrana betuminosa (ARCHIPRODUCTS, 2011)**

Além do polímero referido, também é usado o polipropileno atáctico (APP). Este polímero aumenta a resistência da membrana aos raios ultravioleta e a flexibilidade desta a baixas temperaturas. Às membranas constituídas por SBS ou APP dá-se o nome de membranas betuminosas modificadas (GINGA, 2008).

Existe outro tipo de membranas que, em vez que utilizarem produtos naturais, como por exemplo o betume, utilizam apenas matérias-primas sintéticas. As membranas sintéticas mais utilizadas em Portugal são: PVC, TPO, HDPE e EPDM. A Figura 5 mostra um exemplo de uma membrana sintética.

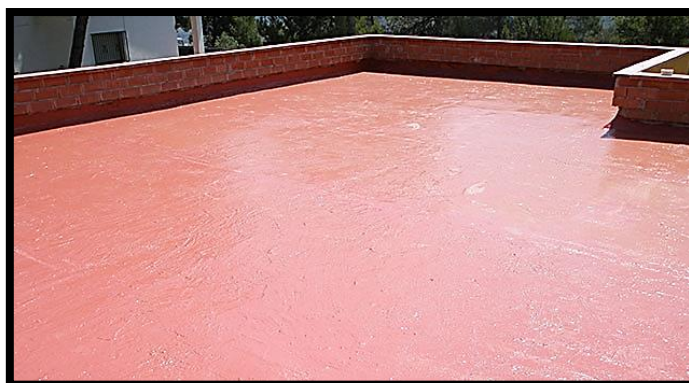
As membranas de PVC são constituídas por plastificantes e estabilizadores, entre outros componentes, que atribuem grande flexibilidade, oferecendo um fácil manuseamento e aplicação. A membrana TPO tem um elevado desempenho a raios ultravioleta, ozono e exposição química, devido aos seus constituintes. Este tipo de membranas tem na sua constituição, geralmente, polipropileno ou propileno-etileno, que lhe concede as características descritas. Um outro tipo de membrana sintética é a membrana de HDPE. Esta membrana é constituída por resina de polietileno sem qualquer adição de outros componentes. Estas membranas ofe-

recem resistência ao impacto e à água e são também bastante flexíveis. As membranas de EPDM são maioritariamente constituídas por etileno e propileno, e dieno em menores quantidades. Estes componentes concedem elevada resistência ao ozono, raios ultravioleta, condições atmosféricas e ainda a agressões por parte de ácidos e alcalinos (LOPES, 1994).



**Figura 5 - Exemplo de membrana sintética (EUROFENIX, 2012)**

As membranas líquidas são um outro tipo que se encontra no estado líquido antes de ser aplicado. O modo de aplicação difere por isso das anteriores mas tem melhor desempenho na impermeabilização dos pontos críticos da cobertura, uma vez que tem maior capacidade para se moldar a essas zonas (GINGA, 2008). Em Portugal, as membranas líquidas são usadas nas seguintes variantes: betuminosas, acrílicas, epoxídicas e de poliuretano (Figura 6).



**Figura 6 - Exemplo de membrana líquida (INTROPOL, 2011)**

As membranas líquidas betuminosas são à base de resina de poliuretano contendo também betume quimicamente polimerizado. A junção destes dois componentes produz uma membrana elástica com boa adesão a vários tipos de superfícies e ainda com boa resistência mecânica e química.

As membranas líquidas acrílicas têm a sua constituição baseada em resinas acrílicas. A estas resinas são por vezes adicionadas fibras de poliéster para melhorar a resistência à tração (GINGA, 2008). Esta camada é geralmente incorporada entre as restantes camadas do revestimento, para criar uma membrana sem junções, com o mínimo de manutenção possível.



As membranas líquidas epóxicas são compostas por resina epóxida. Este tipo de membranas é tolerante à humidade residual existente nos locais onde é aplicado devido às propriedades dos seus constituintes. Essas propriedades atribuem comportamento elástico permitindo por isso alongamentos e retrações significativos sem fissuração (SIKA, 2008).

As membranas líquidas de poliuretano são constituídas maioritariamente por este componente que possui elevada capacidade de resistência aos raios ultravioleta e a temperaturas extremas. Tal como as anteriores, é bastante flexível facilitando a sua aplicação e um melhor tratamento de pontos singulares (GINGA, 2008).

As membranas de base cimentícia são geralmente constituídas por resinas poliméricas em meio aquoso (GINGA, 2008), e por cimento e areia. Existem dois tipos de membranas cimentícias (Figura 7): monocomponente e bicomponente.

As membranas cimentícias monocomponente são constituídas por ligantes cimentícios, areia e polímeros acrílicos de elevada flexibilidade. Os polímeros acrílicos proporcionam elasticidade à membrana, tornando a sua aplicação mais fácil. As membranas cimentícias bicomponente têm composição e utilização bastante semelhante à anterior, diferindo apenas no número de componentes de polímeros, que neste caso é dois (FEITEIRA, 2009).

Após este resumo dos materiais de impermeabilização utilizados em Portugal, pode-se depreender que, devido às suas diversas origens dos materiais e modos de fabrico, os impactes ambientais respetivos variam de forma significativa. Este é um tema importante uma vez que cada vez existe uma maior preocupação com o impacte ambiental das ações e escolhas humanas.



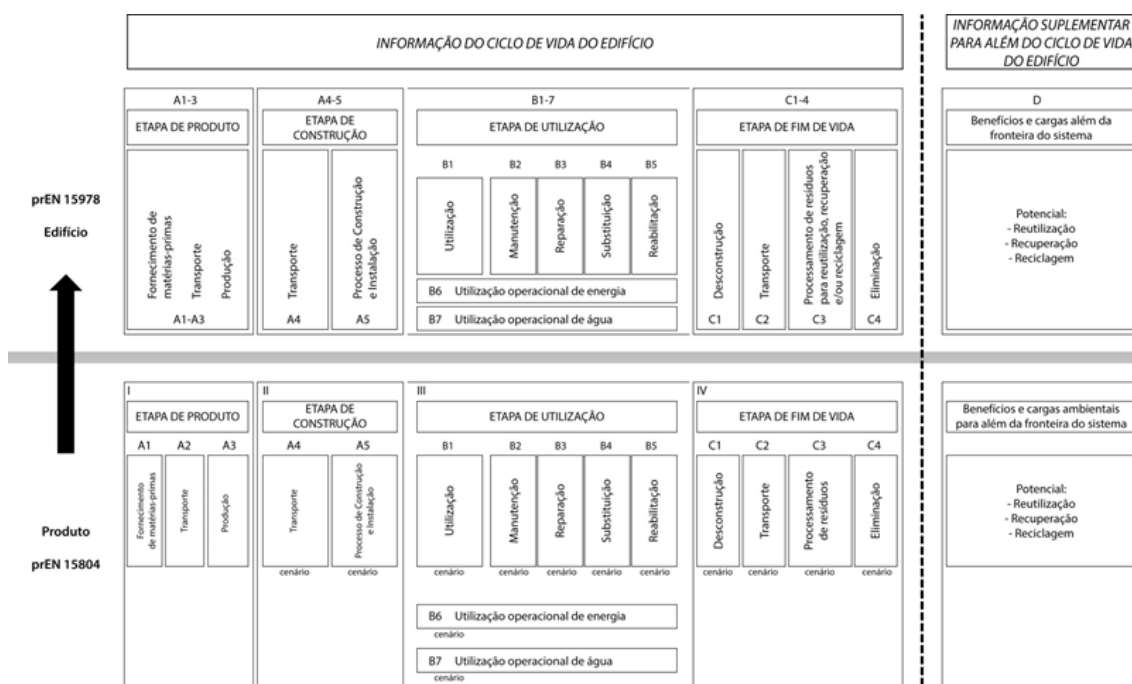
**Figura 7 - Exemplo de membrana de base cimentícia (ARCHIPRODUCTS, 2013)**

## **2.4. Avaliação do ciclo de vida**

Uma das formas de fazer face à necessidade de quantificar os impactes ambientais dos produtos foi o desenvolvimento da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Segundo a NP EN ISO 14040:2007, a ACV é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.” Esta avaliação contempla, assim, todo o ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até ao seu destino final.

Para a realização de uma ACV, existem princípios a seguir, que estão definidos na NP EN ISO 14040:2007. Se a ACV for realizada seguindo as normas aplicáveis, e de forma objetiva e transparente, permite quantificar e comparar desempenhos ambientais dos produtos (CO-ELHO, 2010). A ACV permite também identificar aspetos com elevado impacte ambiental durante a fase da produção dos produtos e permite desenvolver estratégias para tentar minimizar esses impactes (FILLETI, 2014).

Segundo a NP EN 15643-2:2013 a informação relativa ao ciclo de vida pode ser subdivida em etapas: A1-A3: Etapa de produto; A4-A5: Etapa de construção; B1-B7: Etapa de utilização; C1-C4: Etapa de fim de vida. Cada uma desta etapa está dividida em várias sub-etapas, como se pode observar na Figura 8.



**Figura 8 - Módulos de informação do desempenho ambiental de um edifício a partir das suas etapas do ciclo de vida (NP EN 15643-2, 2013)**

Sendo o ciclo de vida de um produto um processo bastante longo e demorado, nesta dissertação tratar-se-á apenas das fases A1-A3, ou seja, from “cradle-to-gate”. Esta etapa contempla o fornecimento de matérias-primas, transporte destas para fábrica e produção do material de impermeabilização (SILVESTRE, 2012).

## 2.5. Declaração ambiental de produto

No seguimento da utilização cada vez mais frequente da ACV, surge o interesse na certificação ambiental dos materiais. Este tipo de certificação é voluntário, de momento, e pretende servir de registo dos impactes ambientais de cada material ou solução de construção. Os certificados ambientais podem apresentar-se em vários tipos: rótulos ambientais, auto-declarações e declarações ambientais de produto. Um dos documentos que servirão de base para a comparação dos impactes ambientais de cada uma das soluções de impermeabilização

de coberturas planas serão as declarações ambientais do tipo III - Declarações Ambientais de Produto (DAP). Atualmente, as DAP constituem “*a mais completa e credível rotulagem ambiental existente*” (CAPETILO, 2010).

As DAP têm carácter voluntário e têm como principal objetivo permitir uma comparação quantitativa do desempenho ambiental dos produtos em questão. Para tal, as DAP contêm informação quantificada de carácter ambiental (SILVESTRE et al., 2010). Um dos objetivos destas declarações, que são emitidas pelos produtores dos materiais, é estimular o mercado para a redução de impactes ambientais de determinado produto, ao longo do seu ciclo de vida (FERREIRA, 2012).

Uma DAP contém informação relativa a impactes ambientais de um produto, ao longo do seu ciclo de vida, tendo por base um estudo de ACV, e pode ser usada por arquitetos e outros projetistas, como fonte de informação relativa a impactes ambientais (FERREIRA, 2012). Na DAP é avaliada a contribuição dos materiais que constituem o produto com base em parâmetros de inventário (consumo de recursos virgens, recursos renováveis, consumo de energia fóssil, resíduos, etc.) que são avaliados e traduzidos em indicadores de categoria de impacto ambiental (aquecimento global, nevoeiro fotoquímico, eutrofização e acidificação) (CAPETILO, 2010).

## **2.6. Outras bases de dados de informação ambiental**

Além das DAP, existem outras bases de dados genéricas de informação ambiental de materiais de construção, as quais podem ter vários tipos de classificações, nomeadamente quanto à fonte ou quanto aos materiais a que se referem. Estas bases de dados podem ser não bibliográficas, institucionais ou bibliográficas (FERRÃO, 1998, citado por SILVESTRE, 2012). As bases de dados a utilizar na pesquisa para esta dissertação, de acordo com esta classificação, são institucionais, uma vez que pertencem a entidades privadas ou governamentais, com o objetivo de facilitar a pesquisa e o acesso a diversas bases de dados e referências bibliográficas. Também foram utilizadas bases de dados não-bibliográficas, que incluem informação relacionada com os impactes ambientais dos produtos em estudo.

Segundo esta classificação, as bases de dados utilizadas podem ainda ser classificadas como referentes a materiais e processos, contendo dados sobre a produção e processo de fabrico de materiais, assim como dos processos relacionados com todas as fases do ciclo de vida dos mesmos (CD, 2001, citado por SILVESTRE, 2012).

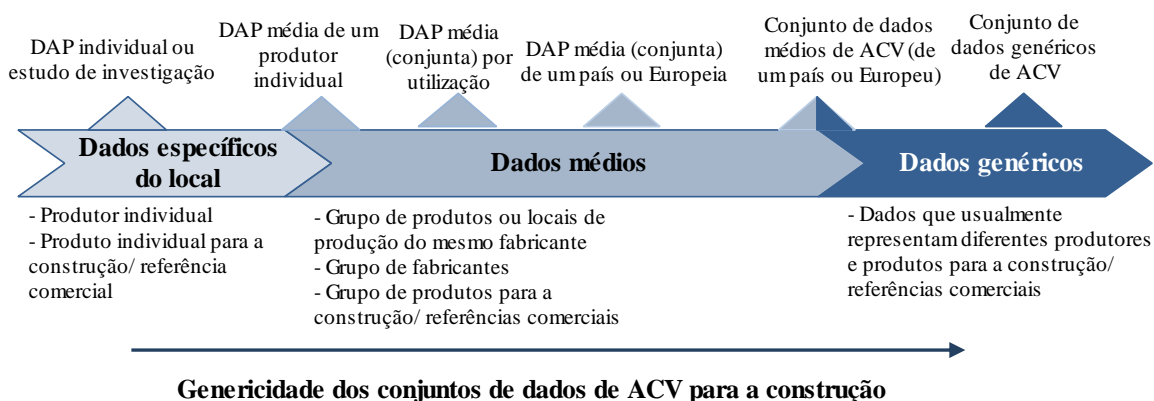
## **2.7. Desempenho ambiental de materiais de impermeabilização**

O desenvolvimento sustentável baseia-se em três componentes: ambiental, económico e social. O conceito de avaliação do ciclo de vida tem vindo a ser estudado, encontrando-se neste momento normalizado. As ferramentas existentes atualmente permitem estimar o impacto ambiental de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. A componente económica contempla todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto. Por sua vez, a compo-

nente social relaciona-se com a avaliação dos impactes sociais e socioeconómicos do ciclo de vida do produto (ARROJA, 2011).

Acerca do desempenho ambiental de materiais de impermeabilização de coberturas planas, realizou-se uma pesquisa em artigos de congresso e em artigos de revista internacional, não se tendo no entanto encontrado estudos com o âmbito e objetivos desta dissertação.

Para a obtenção de informação relativa ao desempenho destes materiais, foram utilizados dois tipos de bases de dados: bases de dados de DAP individuais ou médias, e bases de dados genéricas (dados genéricos). Na Figura 9, pode observar-se a classificação destes conjuntos de dados em função de serem mais específicos ou mais genéricos.



**Figura 9 - Tipos de conjuntos de dados de ACV existentes (SILVESTRE, 2012)**

Não existindo dados relativos à realidade atual portuguesa, optou-se por utilizar bases de dados que se aproximassem o mais possível dessa realidade. Realizou-se a pesquisa em bases de dados europeias, quer específicas de um país ou relativas à Europa, de modo a ter a maior variedade de dados.

As bases de dados genéricas consultadas foram a Ecoinvent, PlasticsEurope2005 e a ELCD, enquanto que as bases de dados de DAP foram a IBU, BRE, Norwegian EPD Foundation, INIES, Environdec e DAPc. As características de cada uma, e os endereços respetivos, são apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4.

Até ao momento, a relação de conjunto de dados de ACV encontrados, consoante as bases de dados consultadas, é a mostrada na Tabela 5. Não foram encontrados quaisquer conjuntos de dados relativos à produção de emulsões betuminosas.

Acrescenta-se que nas bases de dados DAPc (DAP espanholas da área da construção) e ELCD não foram encontrados conjuntos de dados de ACV de materiais de impermeabilização.

Com os dados recolhidos, estabelecer-se-á uma relação entre os impactes ambientais de cada uma das soluções, de modo a poder comparar as várias alternativas de impermeabilização de coberturas planas.

**Tabela 3 - Caracterização das bases de dados de DAP**

|                                | <b>IBU</b>  | <b>INIES</b>  | <b>Norwegian EPD Foundation</b>  | <b>BRE</b>  |
|--------------------------------|---|---|--|---|
| <b>Designação</b>              | Umwelt-Deklarationen  | Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction              | Norwegian EPD Foundation   | Environmental profiles                                    |
| <b>País</b>                    | Alemanha  | França  | Noruega  | Reino Unido   |
| <b>Organização Responsável</b> | Institut Bauen und Umwelt   | Ten French organizations  | Confederation of Norwegian Enterprise (NHO); Federation of Norwegian Building Industries (BNL) | Building Research Establishment                           |
| <b>Sítio</b>                   | <a href="http://construction-environment.com/hp2/Institut-Bauen-und-Umwelt-e-V.htm">http://construction-environment.com/hp2/Institut-Bauen-und-Umwelt-e-V.htm</a> | <a href="http://www.base-inies.fr/Inies/default.aspx">http://www.base-inies.fr/Inies/default.aspx</a> | <a href="http://www.epd-norge.no/?lang=en_GB">http://www.epd-norge.no/?lang=en_GB</a>          | <a href="http://www.bre.co.uk/">http://www.bre.co.uk/</a> |

**Tabela 4 - Caracterização das bases de dados genéricas**

|                                | <b>Environdec</b>   | <b>Plastics Europe 2005</b>   | <b>Ecoinvent</b>  | <b>ELCD</b>   |
|--------------------------------|---|---|---|---|
| <b>Designação</b>              | International EPD System  | Plastics Europe Eco-profile and EPD Programme                               | Ecoinvent version 2,2   | European Life Cycle Database version 2,0                                    |
| <b>País</b>                    | Suécia  | Europa  | Suíça   | União Europeia  |
| <b>Organização Responsável</b> | Swedish Environmental Management Council                            | Plastics Europe - Association of Plastics Manufacturers                     | Swiss Centre for Life Cycle Inventories                         | European Platform for LCA   |
| <b>Sítio</b>                   | <a href="http://www.environdec.com/">http://www.environdec.com/</a> | <a href="http://www.plasticseurope.org/">http://www.plasticseurope.org/</a> | <a href="http://www.ecoinvent.ch/">http://www.ecoinvent.ch/</a> | <a href="http://eplca.jrc.ec.europa.eu/">http://eplca.jrc.ec.europa.eu/</a> |

Tabela 5 - Relação de conjunto de dados de ACV disponíveis

|                                     | Produto        | IBU | INIES | Norwegian EPD Foundation | Environdec | Ecoinvent |
|-------------------------------------|----------------|-----|-------|--------------------------|------------|-----------|
| <b>Membranas betuminosas</b>        | APP/SBS        | 0   | 0     | 5                        | 1          | 6         |
| <b>Membranas sintéticas</b>         | PVC            | 4   | 3     | 6                        | 3          | 0         |
|                                     | TPO            | 7   | 0     | 2                        | 0          | 0         |
|                                     | HDPE           | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
|                                     | EPDM           | 1   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
| <b>Membranas líquidas</b>           | Betuminosas    | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
|                                     | Acrílicas      | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
|                                     | Epoxídicas     | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
|                                     | Poliuretano    | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
| <b>Membranas de base cimentícia</b> | Monocomponente | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |
|                                     | Bicomponente   | 0   | 0     | 0                        | 0          | 0         |

### **3. Avaliação ambiental do ciclo de vida das soluções de impermeabilização**

#### **3.1. Categorias de impacto ambiental**

A avaliação do ciclo de vida dos materiais compreende uma fase de elevada importância a nível ambiental: a avaliação de impactos no Ciclo de Vida (CV). Nesta fase, estabelece-se a relação entre os fluxos de cada processo com categorias de impacto ambiental e respetivos indicadores, de modo a ter uma melhor perceção destes impactos (NP EN ISO 14040).

Segundo a NP EN ISO 14044, as categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização devem ser selecionados de acordo com o objetivo e âmbito do estudo de ACV. Para cada estudo de ACV, poderão ser criadas categorias de impacto, se as existentes não forem suficientes para satisfazer o objetivo e âmbito da ACV, mas tal não será necessário neste caso. As categorias a utilizar são: potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização, potencial de destruição da camada de ozono, potencial de consumo de recursos abióticos, potencial de criação fotoquímica de ozono, consumo de recursos energéticos renováveis e consumo de recursos energéticos não-renováveis.

##### **3.1.1. Potencial de aquecimento global (PAG)**

O aquecimento global consiste no aumento das temperaturas em todo o Planeta. Desde o início da industrialização que as quantidades de gases com efeito de estufa emitidas para a atmosfera aumentaram. O aumento da quantidade destes gases na atmosfera faz com que os raios solares refletidos pela superfície terrestre, sejam refletidos novamente para a Terra, fazendo aumentar a temperatura (DOMBROWSKI, 2014).

Existem quatro grupos de gases que são os maiores responsáveis pelo aquecimento global, devido à sua influência no aumento do efeito de estufa:

- o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) produzido naturalmente é trocado continuamente entre atmosfera, plantas e animais através de processos como: fotossíntese, respiração e decomposição. As quantidades emitidas e absorvidas estão equilibradas. O problema surge porque as quantidades de  $\text{CO}_2$  de origem antropogénica (maioritariamente a queima de combustíveis fósseis) são demasiado elevadas para que os processos naturais consigam restabelecer o equilíbrio (CICERONE e NURSE, 2014);
- o metano ( $\text{CH}_4$ ) é um gás com elevado efeito de estufa. Apesar de existir em menor concentração do que o  $\text{CO}_2$ , tem mais potencial para o efeito de estufa do que este (HOWARTH, 2011). Este gás é produzido pelas bactérias ao decompor organismos, em ambientes húmidos, com pouco oxigénio (LAVELLE, 2012);
- os hidro-clorofluorcarbonetos (HCFC) apareceram em substituição dos clorofluorcarbonetos (CFC), já que estes estavam relacionados com a destruição da camada de ozono. Os HCFC são usados em *sprays*, materiais de isolamento e como refrigerante em equipamentos refrigeradores, e têm efeito de estufa cerca de 20,000 vezes superior ao do  $\text{CO}_2$  (SILVESTRE, 2012);

- o óxido nitroso ( $N_2O$ ) tem um efeito de estufa cerca de 6,000 vezes superior ao do  $CO_2$ . Este gás é produzido na indústria, em transportes e na transformação de nitrogénio por parte de micróbios (SILVESTRE, 2012).

### **3.1.2. Potencial de acidificação (PA)**

A utilização de combustíveis fósseis na produção de energia, transportes e agricultura gera emissões de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de azoto ( $NO_x$ ) e amónia ( $NH_3$ ). A deposição destes três componentes leva à acidificação (AC) provocando alterações nos ecossistemas de água doce, solos florestais e alguns ecossistemas naturais (ANTUNES, 2003).

### **3.1.3. Potencial de eutrofização (PE)**

A eutrofização consiste no aumento do número de nutrientes presentes na água, sendo o nitrogénio e o fósforo os mais importantes (BARRETO, 2013). A introdução destes nutrientes em quantidades excessivas pode levar a um maior crescimento de matéria vegetal, alterando o natural funcionamento dos ecossistemas aquáticos (SMITH e SCHINDLER, 2009).

### **3.1.4. Potencial de destruição da camada de ozono (PDCO)**

A camada de ozono existente na estratosfera terrestre impede a passagem de elevadas quantidades de raios UV para a superfície terrestre. No entanto, a camada de ozono tem vindo a diminuir, devido ao aumento das concentrações de compostos de brómio e cloro na estratosfera, que resultam maioritariamente da emissão de CFC. Apesar da emissão destas substâncias ser pouco significativa (devido ao Protocolo de Montreal), a destruição da camada de ozono (DCO) mantém-se uma vez que existe um desfasamento entre a produção de substâncias depletoras de ozono (ODS) e a sua emissão para a estratosfera (ANTUNES, 2003).

### **3.1.5. Potencial de depleção abiótica (PDA)**

A depleção abiótica está relacionada com o consumo de recursos minerais e energéticos. As reservas dos recursos referidos estão a diminuir, uma vez que a produção destes materiais não é suficiente para fazer face às necessidades para as diferentes atividades humanas. A depleção de um recurso pode mesmo impedir a continuidade de uma determinada atividade, ou aumentar a utilização de um recurso substituto (FERREIRA, 2004).

### **3.1.6. Potencial de criação fotoquímica de ozono (PCFO)**

A criação fotoquímica de ozono ocorre na troposfera devido à oxidação de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis (COV), na presença de óxidos de azoto e de radiação ultravioleta. Atividades como a utilização de combustíveis fósseis e a utilização de produtos constituídos por solventes orgânicos emite para a atmosfera gases como: óxidos de azoto, COV, metano e monóxido de carbono, fazendo aumentar os níveis de ozono na troposfera (ANTUNES, 2003).



### 3.1.7. Consumo de recursos energéticos renováveis (CRE-R)

Os recursos renováveis caracterizam-se por não haver limite de tempo para a sua utilização. Além de grande parte destes recursos não emitir gases com efeito de estufa para a atmosfera, não existe o problema destes recursos desaparecerem, ao contrário do que acontece com os recursos energéticos não-renováveis (MARQUES, 2007).

### 3.1.8. Consumo de recursos energéticos não-renováveis (CRE-NR)

Os recursos energéticos não-renováveis são também conhecidos por recursos de origem fóssil. Este tipo de recursos, apesar de ser utilizado hoje em dia, formou-se há muito tempo atrás. São considerados recursos não-renováveis porque as suas reservas levam muito tempo a ser repostas, além de não estarem igualmente distribuídas a nível geográfico (CAMPOS, 1989 citado por MARQUES, 2007). Os principais recursos não-renováveis utilizados atualmente são: carvão, petróleo e gás natural (MARQUES, 2007).

## 3.2. Bases de dados utilizadas

As DAP podem ser disponibilizadas em bases de dados, de modo a facilitar a sua consulta. No total, foram consultadas as seguintes bases de dados: IBU, INIES, Norwegian EPD Foundation, Environdec, BRE, INIES e DAPc, e as seguintes bases de dados genéricas: PlasticsEurope 2005, Ecoinvent e ELCD. No entanto, nem todas as bases de dados continham DAP relativas às membranas de impermeabilização em estudo.

Depois de excluir as bases de dados que não continham as DAP de membranas de impermeabilização, realizou-se uma pesquisa exaustiva das restantes. Ainda assim, foram apenas encontradas DAP para membranas betuminosas (sem distinção entre polímero APP e SBS), membranas betuminosas com SBS, membrana sintética - PVC, membrana sintética - FPO/TPO e membrana sintética - EPDM.

Nas diferentes bases de dados consultadas, nem sempre foi possível encontrar toda a informação pretendida. Na Tabela 6, é possível observar as categorias de impacte consideradas em cada uma das bases de dados. No subcapítulo 3.3, é analisado o desempenho ambiental apenas dos produtos mencionados.

Tabela 6 - Categorias de impactes presentes em cada base de dados

|                                 | PAG | PA | PE | PDCO | PDA | PCFO | CRE-R | CRE-NR |
|---------------------------------|-----|----|----|------|-----|------|-------|--------|
| <b>IBU</b>                      | x   | x  | x  | x    | x   |      | x     | x      |
| <b>INIES</b>                    | x   | x  | x  | x    | x   | x    | x     | x      |
| <b>Norwegian EPD Foundation</b> | x   | x  | x  | x    |     | x    | x     | x      |
| <b>Environdec</b>               | x   | x  | x  | x    | x   | x    | x     | x      |
| <b>Ecoinvent</b>                | x   | x  | x  | x    | x   | x    | x     | x      |

### 3.3. Desempenho ambiental dos produtos de impermeabilização

A aplicação da metodologia NativeLCA permite a seleção de conjuntos de dados de ACV coerentes para serem usados como genéricos para representar os materiais de impermeabilização no contexto nacional. Segundo a metodologia NativeLCA, o primeiro passo é definir o âmbito e objetivo. O âmbito da metodologia é definido por (SILVESTRE, et al, 2015):

- unidade funcional do estudo - a produção de um metro quadrado de membrana (pois os dados existentes em DAP de membranas de impermeabilização consultadas encontram-se em metro quadrado);
- caracterização do material de construção que será objeto deste estudo: diferentes tipos de materiais de impermeabilização disponíveis no mercado europeu;
- fluxos de ICV e parâmetros de AICV que serão considerados: optou-se por fazer uma normalização dos impactes de AICV a partir dos dados da base de dados *Ecoinvent*, de modo a ter uma noção relativa da importância das categorias ambientais em estudo (depleção abiótica, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozono e oxidação fotoquímica). Na Figura 10, pode-se observar os impactes globais após normalização de *Bitumen sealing V60*. Pode-se então concluir que as três categorias mais relevantes são: depleção abiótica, acidificação e aquecimento global. No entanto, em vez de se utilizar a depleção abiótica (apesar de ser a categoria com maior impacte), vai ser utilizada a categoria consumo de recursos não-renováveis. Esta troca deve-se ao facto de a categoria consumo de recursos não renováveis (CRE-NR) estar presente em todas as bases de dados ao contrário do PDA, e por contribuir significativamente para a categoria PDA;
- etapas de ACV consideradas: neste estudo, considerou-se apenas as etapas A1-A3, do berço ao portão (*cradle-to-gate*), e A1-A3.1, do berço ao portão, considerando a embalagem.

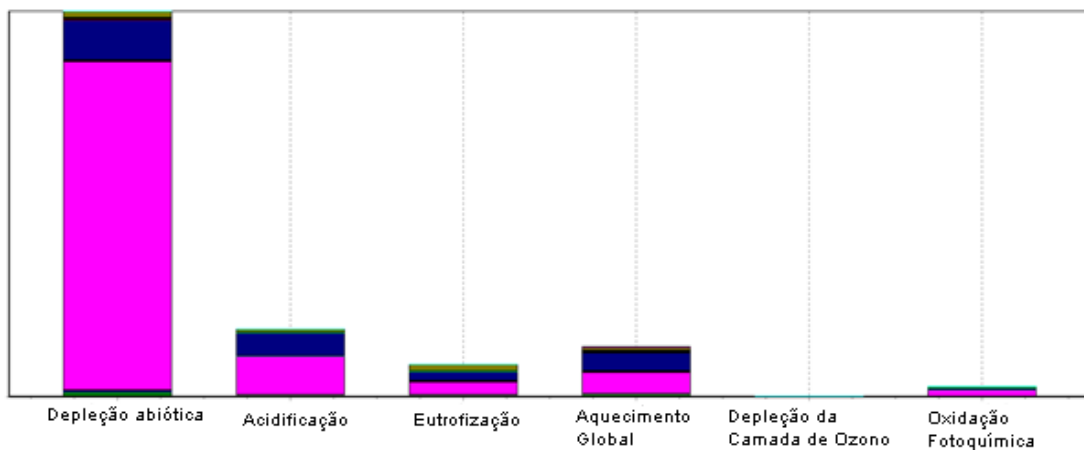


Figura 10 - Impactes ambientais após normalização de *Bitumen sealing V60*

Na normalização dos resultados, utilizou-se o CML 2001, com o parâmetro de normalização Western Europe, 1995. Este método é orientado para efeitos ambientais intermédios (SILVESTRE, 2012) e permite três tipos de ponderação: para a Holanda, para a Europa Ocidental e para o mundo (SAADE, 2014).

### 3.3.1. Membrana betuminosa modificada

As membranas betuminosas modificadas são constituídas por betume, calcário ou ardósia, e polímero APP ou SBS, podendo também conter poliéster. A percentagem de cada componente faz variar a composição final das membranas betuminosas.

Na Tabela 7, estão quantificados os conjuntos de dados de ACV disponíveis para a produção de membranas betuminosas, a nível europeu. Foram encontrados 4 conjuntos de dados genéricos, 1 DAP individual e 5 conjuntas. Na Tabela 8, estão caracterizadas as bases de dados que contêm informação sobre membranas de impermeabilização betuminosas.

**Tabela 7 - Dados disponíveis para membranas betuminosas**

| Produto             | Conjunto de dados de ACV |              |   |                        |
|---------------------|--------------------------|--------------|---|------------------------|
|                     | Europa                   |              |   |                        |
|                     | DAP individuais          | DAP Conjunta | Dados de ACV de um país ou média europeia | Dados de ACV genéricos |
| Membrana betuminosa | 1                        | 5            | 0   | 4                      |

**Tabela 8 - Caracterização das bases de dados com conjuntos de dados de membranas de impermeabilização betuminosas**

| Acrónimo   | Ecoinvent                                 | Envirodec   | NEPD  |
|--|---|---|---|
| <b>Designação da base de dados / Programa de DAP</b> | Ecoinvent version 2.2                     | International EPD System  | The Norwegian EPD Foundation  |
| <b>País</b>  | Suíça                                     | Europa  | Noruega   |
| <b>Tipo de bases de dados de ACV</b>                 | Genérica                                  | DAP conjunta  | 1 DAP individual; 4 DAP conjuntas   |
| <b>Procedimento de amostragem</b>                    | Publicações Europeias de referência       | 42 empresas dos seguintes países: Itália, Espanha, Alemanha, Bélgica, Holanda, Finlândia, Suécia, Dinamarca, Noruega e França | DAP individual - 1 empresa na Noruega (Isola AS); DAP's conjuntas - 18 empresas dos seguintes países: Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Itália, Holanda e Suécia |
| <b>Número de produtos englobados</b>                 | Cada DAP diz respeito a apenas um produto | A DAP diz respeito a 6 produtos   | Cada DAP diz respeito a apenas um produto   |

Na Tabela 9, apresenta-se a meta-informação relativa a cada conjunto de dados, de modo a permitir verificar a sua consistência.

**Tabela 9 - Dados necessários para permitir a verificação da consistência**

| <b>Características</b>       | <b>Ecoinvent</b>    | <b>Environdec</b>   | <b>NEDP</b>  |
|------------------------------|---------------------|---------------------|--|
| <b>Metodologia/RCP</b>       | -                   | EN 15804:2012       | EN 15804:2012  |
| <b>Unidade funcional</b>     | 1 kg                | 1 m <sup>2</sup>    | 1 m <sup>2</sup>   |
| <b>Limites do sistema</b>    | A1-A3               | A1-D                | A1-D   |
| <b>Embalagem</b>             | Não                 | Não                 | Apenas uma DAP considera a embalagem   |
| <b>Critérios de exclusão</b> | -                   | -                   | O processo de produção de matérias-primas e fluxos de energia em quantidades menores que 1% não estão incluídos  |
| <b>Regras de alocação</b>    | ISO 14044:2006      | EN 15804:2012       | Energia, água e produção de resíduos é igualmente alocada através da alocação de massa; efeitos da produção de matérias recicladas alocados no produto em que o material foi utilizado |
| <b>Verificação</b>           | Verificação externa | Verificação externa | Verificação externa  |

A partir da Tabela 9, conclui-se que:

- apenas a Ecoinvent usa RCP diferente das restantes bases de dados em análise;
- os limites do sistema de cada base de dados são diferentes; no entanto, todos contêm os dados necessários para o módulo em análise. Uma DAP da NEPD contém dados relativos à embalagem, ao contrário das restantes. Este facto será tido em consideração na comparação dos resultados. Na prática, não se teve em consideração a embalagem das membranas, uma vez que apenas foi contabilizada numa DAP;
- todas as bases de dados foram sujeitas a verificação externa;
- apesar de a maior parte das DAP se encontrar na unidade funcional de 1 m<sup>2</sup>, verificou-se que os resultados seriam mais fiáveis se a comparação ocorresse por kg. Isto acontece porque o metro quadrado de membrana não tem em conta a espessura da membrana, podendo influenciar os valores finais a comparar. Assim, optou-se por transformar os valores de cada impacte por metro quadrado de membrana em valores de impacte por quilograma de membrana.

Todos os dados são consistentes, tendo em consideração os modelos e os dados utilizados nos cálculos. Apesar de os dados diferirem, de acordo com a base de dados em que se encontram, são consistentes e estão de acordo com o âmbito e objetivo deste estudo: mesma unidade funcional (exceto os dados da *Ecoinvent*), disponíveis no mercado Europeu, incluem dados relativos a CRE-NR, PA e PAG, e incluem a fase de produção.

De modo a permitir resultados mais credíveis, foi também realizada uma verificação da representatividade de acordo com alguns parâmetros. Na Tabela 10, podem ser observados os vários parâmetros a comparar.

Tabela 10 - Dados que permitem a verificação da representatividade

| Características                             | Ecoinvent                                   | Environdec  | NEDP  |
|---|---|---|---|
| <b>Cobertura Geográfica</b>                 | Publicações Europeias de referência         | Itália, Espanha, Alemanha, Bélgica, Holanda, Finlândia, Suécia, Dinamarca, Noruega e França | Noruega (uma DAP), Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Itália, Holanda e Suécia (quatro DAP)                 |
| <b>Representatividade tecnológica</b>       | Tecnologia comum                            | Tecnologia comum  | Tecnologia comum  |
| <b>Dados de ACV de energia e transporte</b> | Utilizado o mix energético de vários países | EN 15804:2012   | Eletricidade - mix energético norueguês/europeu; transporte - distância entre local de produção e armazém central |
| <b>Representatividade temporal</b>          | 1995-2001                                   | 2010  | 2012-2013 (uma DAP), 2010-2012 (quatro DAP)   |
| <b>Possibilidade de contextualização</b>    | Sim   | Não   | Não   |

Da Tabela 10, podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- uma das DAP da NEPD tem cobertura de apenas um país, enquanto as restantes têm cobertura europeia;
- a tecnologia utilizada na produção das membranas pode ser considerada genérica para todas as bases de dados;
- os dados relativos à base de dados Ecoinvent são mais antigos (1995-2001) do que os das restantes bases de dados (2010-2013);
- a base de dados Ecoinvent permite alterar os dados de modo a fornecer dados contextualizados para um determinado país.

De modo a maximizar a representatividade geográfica dos dados da Ecoinvent, optou-se por contextualizar os seus dados, alterando o *mix* energético para o caso Português.

Após as várias comparações, todas as DAP foram validadas no que diz respeito à consistência dos dados e à sua representatividade, apesar de nem sempre respeitarem os critérios definidos. Um dos critérios não respeitados foi a cobertura geográfica de uma das DAP da NEPD, que cobre apenas a Noruega.

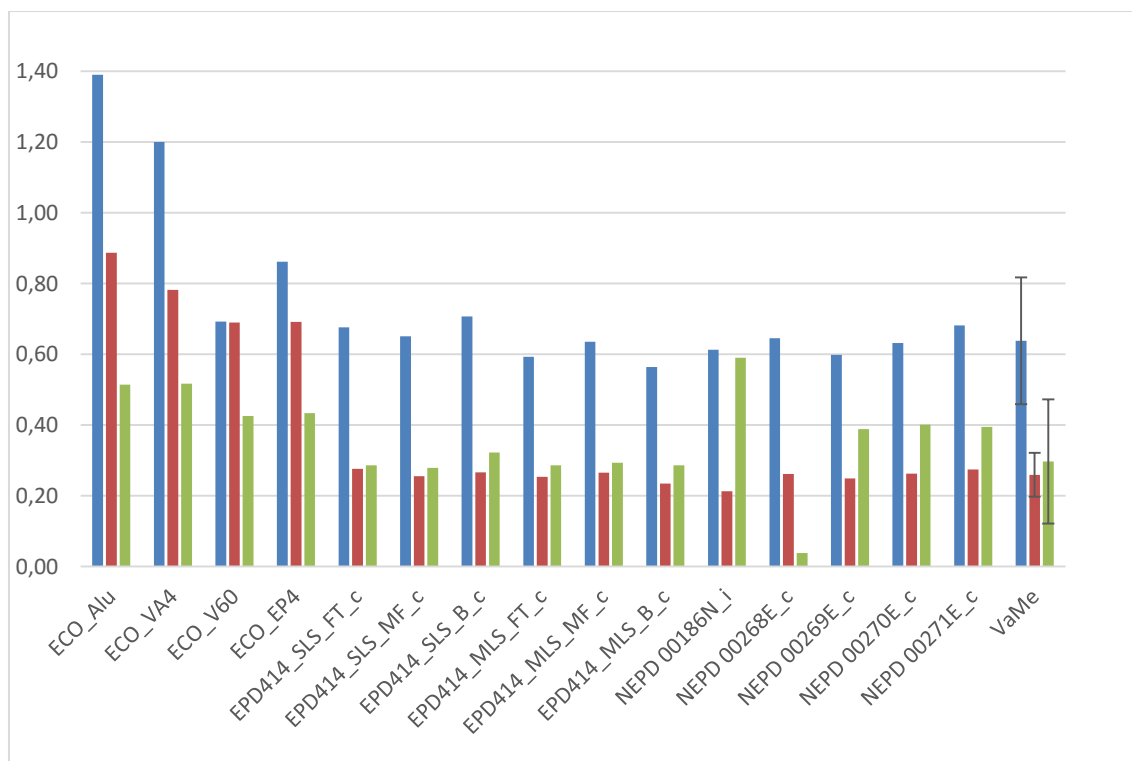
Tendo em conta os tipos de membrana betuminosa mais utilizados, com polímero APP e SBS, tentou-se fazer uma divisão de acordo com as tipologias. No entanto, em nenhuma DAP havia uma distinção clara em termos do polímero constituinte da membrana, de tal modo que se optou por não se fazer essa distinção. Contudo, apesar de não ser possível fazer essa distinção, da análise das Tabelas 7 a 10, pode-se concluir que:

- os valores da Ecoinvent são genéricos, não podendo ser utilizados no cálculo de valores médios de impacto;
- as restantes DAP conjuntas têm uma maior abrangência geográfica, fornecendo por isso valores médios europeus, e não apenas específicos de um país.

Para calcular os valores médios dos impactes ambientais das membranas betuminosas, teve-se em conta os impactes das DAP individual e conjuntas relativos às categorias selecionadas. Este valor resulta de uma média entre os dados recolhidos, mas tendo em consideração que existem valores individuais e valores coletivos. Os valores relativos às DAP conjuntas foram multiplicados pelo número de empresas incluídos na DAP (os valores da Environdec foram multiplicados por 42, e os valores das NEPD conjuntas foram multiplicados por 25).

Na Figura 11, pode-se observar os valores relativos aos impactes ambientais selecionados (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e consumo de recursos energéticos não-renováveis) para as várias DAP em estudo. É possível observar também o valor médio (VaMe) relativo a cada categoria (neste caso não se diferenciou consoante a existência ou não de embalagem, uma vez que, como apenas uma membrana (NEPD00186N\_i) continha informação relativa à embalagem, esta não foi considerada).

Nesta fase, interessa referir que os dados relativos à base de dados Ecoinvent já se encontram contextualizados de acordo com o *mix* energético português.



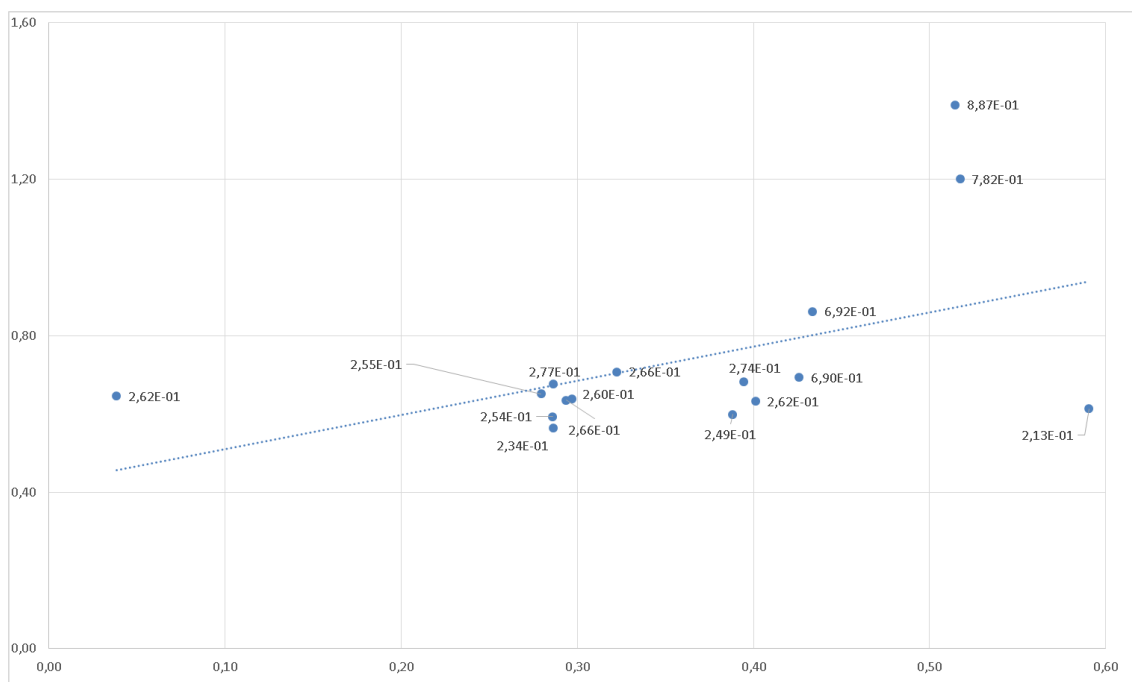
**Figura 11 - PAG (a azul, kg eq CO<sub>2</sub>), PA (a vermelho, kg eq SO<sub>2</sub>\*10<sup>-2</sup>), CRE-NR (a verde, MJ\*10<sup>2</sup>), com desvio-padrão incluído no VaMe**

Comparando o valor médio Europeu com os valores dos impactes das membranas ECO\_VA4 e ECO\_Alu (Figura 11), é possível verificar que estas apresentam quase o dobro dos impactes, mas isto não se verifica para as restantes membranas da base de dados Ecoinvent, nomeadamente ECO\_V60 e ECO\_EP4. Uma razão para tal é o facto de as membranas ECO\_VA4 e ECO\_Alu possuírem uma folha de alumínio como camada de autoproteção.

Apesar de estas duas membranas não se enquadrarem com as restantes, podem ser

utilizadas para representar as membranas betuminosas com autoproteção de alumínio. A membrana betuminosa ECO\_VA4 tem na sua constituição 0,000545 kg de alumínio/m<sup>2</sup>, enquanto a ECO\_Alum tem 0,2519 kg, podendo-se concluir que a ECO\_Alum tem uma percentagem de alumínio muito superior.

Da Figura 11, é ainda possível observar que a NEPD 00186N e a NEPD 00268E apresentam valores para o CRE-NR muito diferentes do valor médio europeu, e das restantes membranas. Para validar estes dados, foi construído um gráfico (Figura 12) que relaciona as três categorias de impactes ambientais.



**Figura 12 - CRE-NR (em abcissas, \*10<sup>2</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO<sub>2</sub>), em que cada ponto representa os valores de PA (\*10<sup>-2</sup> kg eq SO<sub>2</sub>)**

Na Figura 12, pode-se observar quatro membranas que se distanciam da relação quase linear dos impactes em análise. No entanto, uma vez que as membranas ECO\_VA4 (7,82E-01) e ECO\_Alum (8,87E-01) já foram colocadas num grupo à parte, apenas duas necessitam de uma segunda análise. É possível verificar que as NEPD 00186 (2,13E-01) e NEPD 00268E (2,62E-01) apenas se afastam das restantes membranas relativamente ao impacte ambiental CRE-NR, tendo-se optado por continuar a considerar estas membranas no cálculo do valor médio. Também é necessário ter em consideração que a NEPD 00186 é a única membrana que considera os impactes da embalagem, podendo adulterar os resultados.

Tendo em consideração a análise anterior, optou-se pela escolha do valor médio europeu (VaMe) para ser usado como genérico no contexto português para a produção de um quilograma de membrana betuminosa, sem autoproteção de alumínio. Apesar de os valores da Ecoinvent já estarem contextualizados em termos de *mix* energético, é possível verificar que são muito diferentes do valor médio europeu, e das restantes membranas. Esta diferença pode

dever-se ao facto de os dados utilizados pela Ecoinvent serem relativos aos anos 1995 a 2001, enquanto os dados utilizados pelas restantes bases já são mais recentes.

Na Tabela 11, estão resumidas as decisões tomadas ao longo da aplicação da metodologia NativeLCA.

**Tabela 11 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas betuminosas**

| Consistência e representatividade   | Possibilidade de serem usados na quantificação de valores médios (VaMe) para ICV e indicadores de AICV                     | Comparação com dados estrangeiros: VaMe vs dados genéricos   | Seleção de dados de ACV coerentes para serem utilizados como genéricos em contexto nacional: NativeLCA   |
|---|--|--|--|
| Conjuntos de dados eliminados: dois da Ecoinvent referentes a membranas betuminosas com autoproteção em folha de alumínio | Cálculo de valor médio Europeu total, sem embalagem, uma vez que apenas uma DAP continha informações relativas à embalagem | Dados genéricos: a base de dados genérica Ecoinvent foi excluída do cálculo do valor médio, uma vez que não tem representatividade geográfica nem temporal suficiente (apesar de os dados da Ecoinvent terem sido "contextualizados" para o caso português, são baseados apenas em literatura de referência da Europa) | Valor médio Europeu (VaMe) para a produção de um quilograma de membrana betuminosa sem embalagem (A1-A3) |

### 3.3.2. Membrana sintética - PVC

Os vários tipos de membranas sintéticas com PVC são compostas por: PVC, estabilizadores, plastificantes, fibra resistente, retardadores de chama, entre outras matérias-primas, em menores quantidades.

Para seleccionar os dados de ACV das membranas sintéticas de PVC, foi também utilizada a metodologia NativeLCA. A metodologia foi aplicada de forma idêntica à descrita em 3.3, com as seguintes diferenças:

- unidade funcional do estudo: a produção de um metro quadrado de membrana (uma vez que os dados existentes em DAP de membranas de impermeabilização consultadas se encontram em metro quadrado);
- etapas de ACV consideradas: neste estudo, considerou-se apenas as etapas A1-A3, *cradle-to-gate*. Para este tipo de membranas, foi necessário ter em consideração os impactes da embalagem, uma vez que está contabilizada na maior parte das DAP.

Na Tabela 12, estão quantificados os conjuntos de dados de ACV disponíveis para a produção de membranas sintéticas de PVC, a nível europeu. Foram encontradas 9 DAP individuais.

Na Tabela 13, estão caracterizadas as bases de dados que contêm informação sobre membranas de impermeabilização de PVC.



Na Tabela 14, são apresentados os dados relativos a cada base de dados, de modo a permitir verificar a consistência das mesmas.

**Tabela 12 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de PVC**

| Produto                  | Conjuntos de dados de ACV |              |   |                        |
|--------------------------|---------------------------|--------------|---|------------------------|
|                          | Europa                    |              |   |                        |
|                          | DAP individuais           | DAP conjunta | Dados de ACV de um país ou média europeia | Dados de ACV genéricos |
| Membrana sintética - PVC | 8                         | 0            | 0   | 0                      |

**Tabela 13 - Caracterização das bases de dados com DAP de membranas sintéticas de PVC**

| Acrónimo   | ENVIRONDEC  | IBU  | NEPD  |
|--|---|--|---|
| <b>Designação da base de dados / Programa de DAP</b> | International EPD System  | Institute Construction and Environmental   | The Norwegian EPD Foundation                    |
| <b>País</b>  | Europa  | Alemanha   | Noruega   |
| <b>Tipo de bases de dados de ACV</b>                 | 2 DAP individuais   | 4 DAP individuais  | 2 DAP individuais                               |
| <b>Procedimento de amostragem</b>                    | 1 Empresa na República Checa (Fatra)  | 2 Empresas na Alemanha: Paul Bauder GmbH & Co. KG e alwittraa GmbH & Co. Klaus Gobel     | 1 Empresa na Noruega (PROTAN AS)                |
| <b>Número de produtos englobados</b>                 | Uma DAP diz respeito a apenas um produto. A outra DAP diz respeito a 5 produtos | Uma DAP diz respeito a 6 produtos. As restantes 3 DAP dizem respeito a apenas um produto | Ambas as DAP dizem respeito apenas a um produto |

A partir da Tabela 14, conclui-se que:

- as bases de dados em análise usam a mesma metodologia;
- os limites do sistema de cada base de dados são diferentes entre si. Além disso, as duas DAP da NEPD são as únicas que não contêm dados relativos à embalagem. Este facto será tido em consideração na comparação dos resultados;
- todas as bases de dados foram sujeitas a verificação externa;
- apesar de as DAP se encontrarem na unidade funcional de 1 m<sup>2</sup>, verificou-se que os resultados seriam mais viáveis se a comparação ocorresse por kg, tal como referido no caso das membranas betuminosas.

**Tabela 14 - Dados necessários para verificar a consistência**

| Características              | Environdec  | IBU   | NEPD                |
|------------------------------|---|---|---------------------|
| <b>Metodologia/RCP</b>       | ISO 14025:2006  | ISO 14025:2006  | ISO 14025:2006      |
| <b>Unidade funcional</b>     | 1 m <sup>2</sup>  | 1 m <sup>2</sup>  | 1 m <sup>2</sup>    |
| <b>Limites do sistema</b>    | A1-A3   | A1-D  | A1-C3               |
| <b>Embalagem</b>             | Sim   | Sim   | Não                 |
| <b>Crítérios de exclusão</b> | A DAP está de acordo com a ISO 14025:2006, módulo básico de PCR 2012:01 version 1.1 | São considerados materiais e fluxos energéticos com percentagem inferior a 1% | Baseado na EN-15804 |
| <b>Regras de alocação</b>    |   | Os dados do produto foram determinados relativamente à área total produzida   | Não relevante       |
| <b>Verificação</b>           | Verificação externa   | Verificação externa   | Verificação externa |

Todos os conjuntos de dados são consistentes, tendo em consideração os modelos e os dados utilizados nos cálculos. Os dados presentes nas Tabelas 13 e 14 são consistentes, mas diferem de acordo com a base de dados. Contudo, todos os dados estão de acordo com o âmbito e objetivo deste estudo: mesma unidade funcional, disponíveis no mercado Europeu, incluem dados relativos a CRE-NR, PA e PAG, e incluem a fase de produção.

De modo a permitir obter resultados mais credíveis, foi também realizada uma verificação da representatividade de acordo com alguns parâmetros. Na Tabela 15, podem ser observados os vários parâmetros a comparar.

**Tabela 15 - Dados que permitem a verificação da representatividade**

| Características                             | ENVIRONDEC  | IBU   | NEPD  |
|---|---|---|---|
| <b>Cobertura geográfica</b>                 | República Checa   | Alemanha  | Noruega   |
| <b>Representatividade tecnológica</b>       | Tecnologia comum  | Tecnologia comum  | Tecnologia comum  |
| <b>Dados de ACV de energia e transporte</b> | A DAP está de acordo com a ISO 14025:2006, módulo básico de RCP 2012:01 vers. 1.1 | É considerado o transporte das matérias-primas e das embalagens, para o local, assim como o transporte de fim-de-vida | Eletricidade - <i>mix</i> elétrico europeu relativo aos anos 2007-2011; transporte entre o local de produção e o armazém central é de 50 km |
| <b>Representatividade temporal</b>          | 2011  | 2009 (uma DAP), 2012 (quatro DAP)   | 2011-2012   |
| <b>Possibilidade de contextualização</b>    | Não   | Não   | Não   |

Da Tabela 15, podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- cada DAP tem cobertura apenas de um país, nomeadamente, Noruega, Alemanha e República Checa;
- a tecnologia utilizada na produção das membranas pode ser considerada genérica para todas as bases de dados;
- nenhuma das bases de dados referidas permite a “contextualização” para o caso português;
- todos os dados são recentes;
- após as várias comparações, todas as DAP foram validadas no que diz respeito à consistência dos dados e à sua representatividade.

Das Tabelas 13 a 15, pode-se concluir que:

- as DAP têm cobertura geográfica apenas da Noruega, Alemanha ou República Checa;
- não há DAP de dados genéricos, podendo assim todas ser consideradas no cálculo do valor médio europeu.

Para calcular os valores médios dos impactes ambientais das membranas sintéticas de PVC, teve-se em conta os dados de todas as DAP individuais relativos às categorias de impacte selecionadas. No entanto, uma vez que existem 7 DAP que consideram os impactes das embalagens, e duas que não incluem a embalagem, optou-se por calcular três valores médios: um valor médio para todas as membranas, um valor médio para as DAP que consideram a embalagem e um valor médio para as membranas que excluem a embalagem.

Na Figura 13, pode-se observar os valores relativos aos impactes ambientais selecionados (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e consumo de recursos energéticos não-renováveis) das várias DAP em estudo. É possível observar também os vários valores médios relativos a cada categoria.

A partir da Figura 13, é possível verificar que há duas DAP's individuais com valores questionáveis para o impacte PA: a NEPD 00032E\_i e a NEPD 00098E\_i. No entanto, isso pode ser justificado por serem as únicas DAP que não consideram a embalagem nos resultados dos impactes. As DAP EPD-ALW-IBA1-DE\_i e EPD-BAU-20130188\_i são também questionáveis, uma vez que o valor do impacte CRE-NR é muito baixo, quando comparado com as restantes DAP ou com o valor médio europeu.

Na Figura 14, pode-se ainda confirmar que as DAP das membranas que não consideram a embalagem (NEPD 00032E\_i e NEPD 00098\_i) possuem um valor de impacte para o PA mais baixo do que os restantes, mas verifica-se que os valores dos restantes impactes em análise também são mais baixos, mostrando que não se afastam muito da tendência quase linear da relação dos três impactes ambientais. Assim, optou-se por considerar estas DAP no valor médio Europeu, uma vez que os resultados não são significativamente diferentes dos restantes.

É possível observar na Figura 14 que a variação dos valores segue uma linha de tendência (pelo menos para o CRE-NR e para o PAG). Deste modo, optou-se por ter em consideração todos os conjuntos de dados, uma vez que são consistentes.

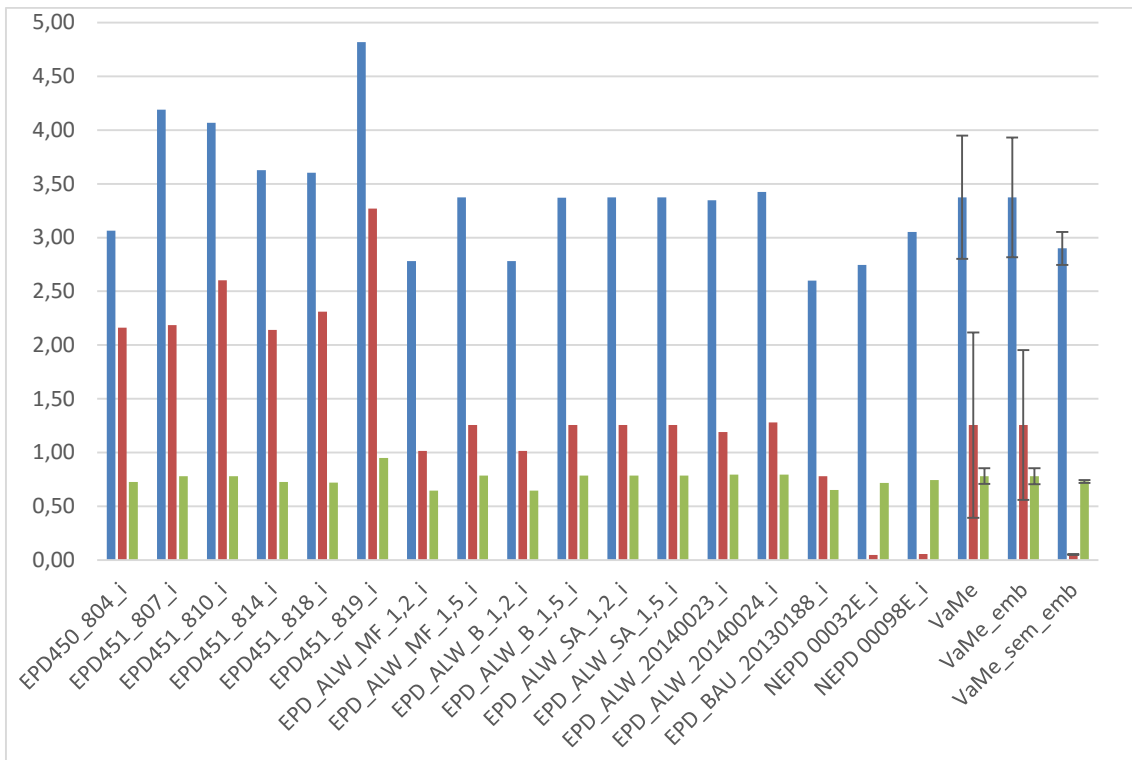


Figura 13 - PAG (a azul, kg eq CO<sub>2</sub>), PA (a vermelho, kg eq SO<sub>2</sub>\*10<sup>-2</sup>), CRE-NR (a verde, MJ\*10<sup>1</sup>), com desvio-padrão incluído no VaMe

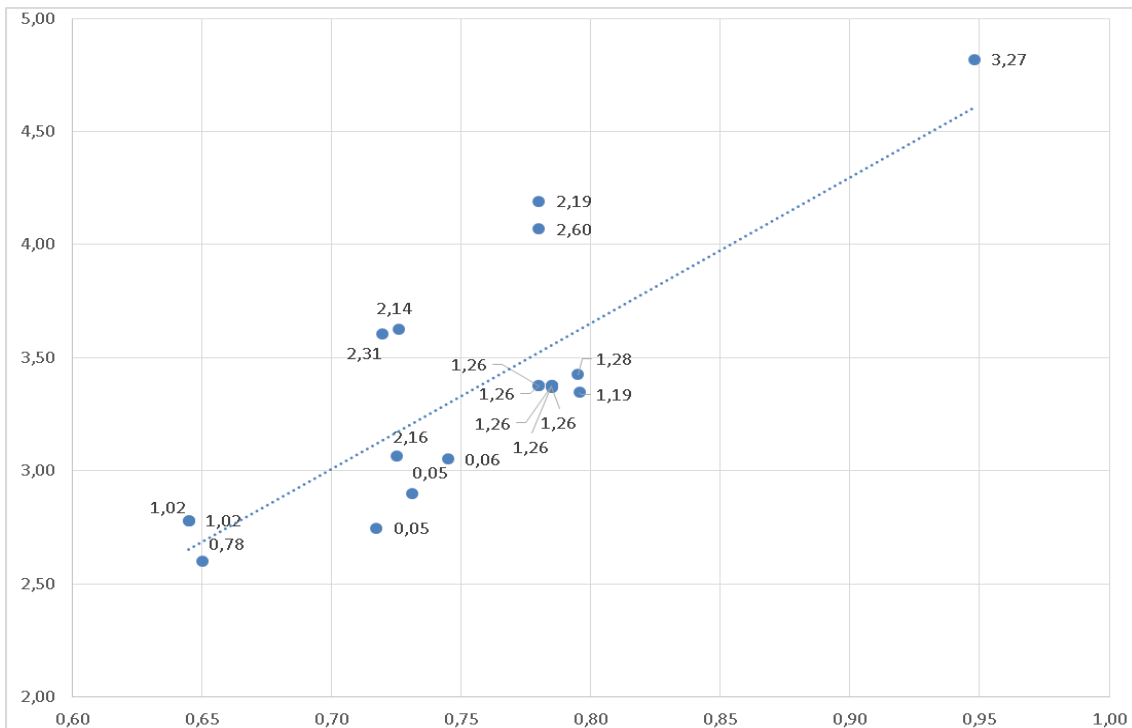


Figura 14 - CRE-NR (em abscissas, \*10<sup>1</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO<sub>2</sub>), em que cada ponto representa os valores de PA (\*10<sup>-2</sup>kg eq SO<sub>2</sub>)

Tendo em conta a análise anterior, concluiu-se que o valor a ser usado como genérico para o caso Português deve ser o valor médio Europeu para membranas sintéticas de PVC sem embalagem ou com embalagem. Na Tabela 16, estão resumidas as decisões tomadas ao longo da aplicação da metodologia NativeLCA.

**Tabela 16 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de PVC**

| <b>Consistência e representatividade</b> | <b>Possibilidade de serem usados na quantificação de valores médios (VaMe) para ICV e indicadores de AICV</b> | <b>Seleção de dados de ACV coerentes para serem utilizados genericamente em contexto nacional: NativeLCA</b>      |
|--|---|---|
| Não foi excluída nenhuma DAP             | Cálculo de valor médio Europeu totais, com embalagem e sem embalagem  | VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana sintética de PVC, com e sem embalagem (A1-A3 e A1-A3.1) |

### 3.3.3. Membrana sintética - TPO/FPO

A maior parte das membranas sintéticas com TPO/FPO são compostas por: TPO/FPO, estabilizadores, retardadores de chama, reforço, entre outros componentes. No entanto, algumas membranas não possuem determinados componentes, como por exemplo retardadores de chama, e outras possuem corantes.

Tal como no caso das membranas de PVC, para selecionar os dados de ACV das membranas sintéticas de TPO/FPO, foi utilizada a metodologia NativeLCA. A metodologia foi aplicada de forma semelhante ao descrito em 3.3, com algumas diferenças:

- etapas de ACV consideradas: foi necessário ter em consideração os impactes da embalagem, uma vez que está contabilizada na maior parte das DAP.

Na Tabela 17, estão identificados os conjuntos de dados de ACV disponíveis para a produção de membranas sintéticas de TPO/FPO, a nível europeu. Foram encontradas 7 DAP individuais e duas DAP conjunta.

**Tabela 17 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de TPO/FPO**

| <b>Produto</b>                | <b>Conjunto de dados de ACV</b> |                     |  |                               |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|--|-------------------------------|
|                               | <b>Europa</b>                   |                     |  |                               |
|                               | <b>DAP individuais</b>          | <b>DAP conjunta</b> | <b>Dados de ACV de um país ou média europeia</b> | <b>Dados de ACV genéricos</b> |
| Membrana sintética de TPO/FPO | 9                               | 0                   | 0  | 0                             |

Na Tabela 18, estão caracterizadas as bases de dados que contêm informação sobre membranas de impermeabilização de TPO/FPO.

**Tabela 18 - Caracterização das bases de dados de DAP que incluem membranas sintéticas de TPO/FPO**

| <b>Acrónimo</b>                                      | <b>IBU</b>   | <b>NEPD</b>                                    |
|--|--|--|
| <b>Designação da base de dados / Programa de DAP</b> | Institute Construction and Environmental   | The Norwegian EPD Foundation                   |
| <b>País</b>  | Alemanha   | Noruega  |
| <b>Tipo de bases de dados de ACV</b>                 | DAP individuais  | DAP individuais                                |
| <b>Procedimento de amostragem</b>                    | 2 DAP de uma empresa (Paul Bauder GmbH & Co. KG); 3 DAP de outra empresa (Sika Deutschland GmbH); 2 DAP de uma terceira empresa (Polyfin AG) | 2 DAP de uma empresa (Icopal AS)               |
| <b>Números de produtos englobados</b>                | Cada DAP contém resultados de um único produto   | Cada DAP contém resultados de um único produto |

Na Tabela 19, são apresentadas as características relativas a cada base de dados, de modo a permitir verificar a consistência dos dados apresentados em cada uma.

A partir da Tabela 19, conclui-se que:

- as bases de dados em análise utilizam metodologias diferentes;
- os limites do sistema de cada base de dados são diferentes entre si. Além disso, as DAP da NEPD são as únicas que não contêm dados relativos à embalagem, facto que será tido em consideração na comparação dos resultados;
- ambas as bases de dados possuem verificação externa;
- apesar de as DAP se encontrarem na unidade funcional de 1 m<sup>2</sup>, verificou-se que os resultados seriam mais viáveis, se a comparação ocorresse por kg, tal como referido no caso das membranas betuminosas.

**Tabela 19 - Dados necessários para verificar a consistência**

| <b>Características</b>       | <b>IBU</b>  | <b>NEPD</b>                        |
|------------------------------|---|------------------------------------|
| <b>Metodologia/RCP</b>       | PCR 2013  | ISO 14025                          |
| <b>Unidade funcional</b>     | 1 m <sup>2</sup>  | 1 m <sup>2</sup>                   |
| <b>Limites do sistema</b>    | A1-D  | A1-C2                              |
| <b>Embalagem</b>             | Sim   | Não                                |
| <b>Critérios de exclusão</b> | Todos os processos estão incluídos  | Todos os processos estão incluídos |
| <b>Regras de alocação</b>    | Fluxos de entrada e saída de materiais foram baseados na quantidade de produção | Não relevante                      |
| <b>Verificação</b>           | Verificação externa   | Verificação externa                |

Todos os dados são consistentes, tendo em consideração os modelos e os dados utilizados nos cálculos. Os dados presentes nas Tabelas 18 e 19 são consistentes, mas diferem de acordo com a base de dados. Contudo, todos os dados estão de acordo com o âmbito e objeti-

vo deste estudo: mesma unidade funcional, disponíveis no mercado Europeu, incluem dados relativos a CRE-NR, PA e PAG, e incluem a fase de produção.

De modo a permitir resultados mais credíveis, foi também realizada uma verificação da representatividade de acordo com alguns parâmetros. Na Tabela 20, podem ser observados os vários parâmetros analisados.

Da Tabela 20, podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- todas as DAP relativas a membranas sintéticas de TPO/FPO têm cobertura apenas de um país, nomeadamente Noruega ou Alemanha;
- a tecnologia utilizada na produção das membranas pode ser considerada genérica para todas as bases de dados;
- nenhuma das bases de dados permite a contextualização dos dados.

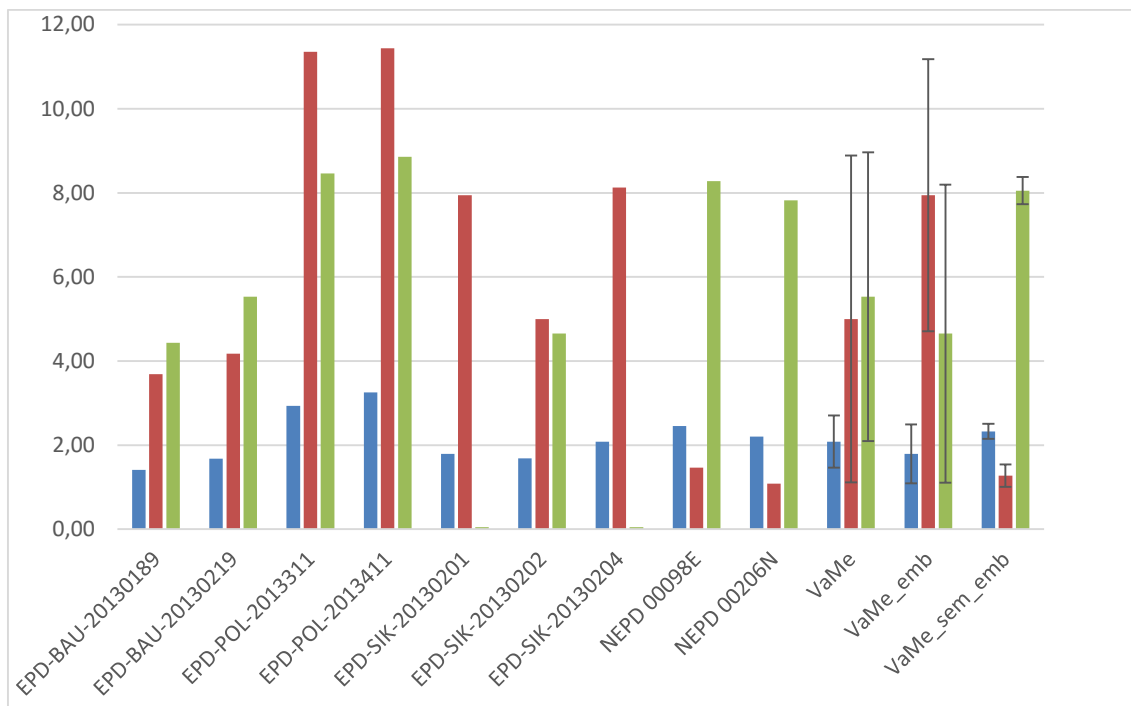
Após as várias comparações, todas as DAP foram validadas no que diz respeito à consistência dos dados e à sua representatividade. Depois de se ter validado todas as DAP, houve a possibilidade de separar as DAP de acordo com o polímero utilizado: TPO ou FPO. No entanto, apenas duas DAP especificam qual o tipo de polímero utilizado. Portanto, optou-se por não fazer a divisão de acordo com os polímeros, continuando o processo sem especificar o polímero utilizado em cada DAP. Dado que não há DAP de dados genéricos, todas podem ser consideradas no cálculo do valor médio Europeu.

Para calcular os valores médios dos impactes ambientais das membranas sintéticas de TPO/FPO, teve-se em conta os dados de todas as DAP individuais. Neste caso, como não existem DAP conjuntas, não é necessário corrigir o valor médio.

Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, pode-se observar os valores relativos aos impactes ambientais seleccionados (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e consumo de recursos energéticos não-renováveis) das várias DAP em estudo.

**Tabela 20 - Dados que permitem a verificação da representatividade**

| Características                             | IBU  | NEDP   |
|---|--|--|
| <b>Cobertura geográfica</b>                 | Alemanha   | Noruega  |
| <b>Representatividade tecnológica</b>       | Tecnologia comum   | Tecnologia comum   |
| <b>Dados de ACV de energia e transporte</b> | Fluxos de entrada e saída de energia foram baseados no ano de 2012 | Eletricidade - <i>mix</i> eléctrico norueguês, de baixa tensão; transporte entre o local de produção e o armazém central é de 209 km |
| <b>Representatividade temporal</b>          | 2012 (1 DAP);<br>2011 (6 DAP)                                      | 2012   |
| <b>Possibilidade de contextualização</b>    | Não  | Não  |



**Figura 15 - PAG (a azul, kg eq CO<sub>2</sub>), PA (a vermelho, kg eq SO<sub>2</sub>\*10<sup>-3</sup>), CRE-NR (a verde, MJ\*10<sup>1</sup>), com desvio-padrão incluído no VaMe**

A partir da Figura 15, é possível verificar que os resultados são muito diversificados: nas DAP Norueguesas, observa-se que o impacte CRE-NR é muito mais elevado do que nas restantes; na maioria das DAP Alemãs, o impacte relativo ao PA é muito mais importante do que nas restantes DAP. Existem ainda duas DAP que apresentam valores de CRE-NR quase nulos. Para ter uma melhor perceção dos dados, criou-se a Figura 16.

Como se pode observar na Figura 16, há duas DAP cujos resultados se afastam das restantes: EPD-SIK-20130201 (7,94) e EPD-SIK-20130204 (8,13), uma vez que os valores do impacte CRE-NR são muito baixos. No entanto, é possível verificar que a relação entre os impactes das restantes DAP se aproxima da linha de tendência.

Portanto, uma vez que nem as DAP que não consideram os impactes da embalagem, NEPD 00098E e NEPD 00206E, nem as DAP com CRE-NR quase nulo, EPD-SIK-20130201 e EPD-SIK-20130204, se afastam muito da linha de tendência, optou-se por considerá-las no valor médio Europeu. Assim, é possível obter resultados com mais representatividade.

Tendo em conta a análise anterior, concluiu-se que o valor a ser usado como genérico para o caso Português é o valor médio Europeu para membranas sintéticas de TPO/FPO com embalagem (A1-A3.1) e sem embalagem (A1-A3). A etapa de produção de um material contém as fases A1-A3 mas, se a embalagem estiver contemplada nos dados, é considerada na fase de produção e identificada com A1-A3.1.

Na Tabela 21, estão resumidas as decisões tomadas ao longo da aplicação da metodologia NativeLCA.



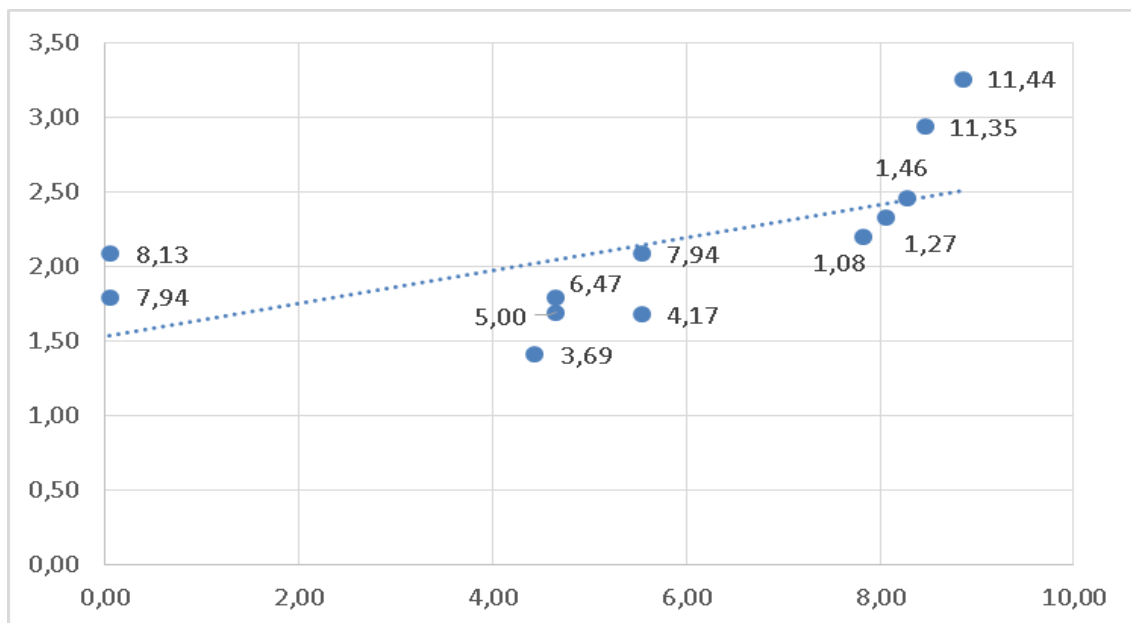


Figura 16 - CRE-NR (em abscissas, \*10<sup>1</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO<sub>2</sub>), em que cada ponto representa os valores de PA (\*10<sup>-3</sup>kg eq SO<sub>2</sub>)

Tabela 21 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de TPO/FPO

| Consistência e representatividade       | Possibilidade de serem usados na quantificação de valores médios (VaMe) para ICV e indicadores de AICV | Seleção de dados de ACV coerentes para serem utilizados genericamente em contexto nacional: NativeLCA                |
|---|--|--|
| Todas as DAP foram consideradas válidas | Cálculo de valor médio Europeu, com e sem embalagem  | VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana sintética de TPO/FPO com e sem embalagem (A1-A3 e A1-A3.1) |

### 3.3.4. Membrana sintética - EPDM

As membranas sintéticas de EPDM são compostas por: EPDM, polipropileno, retardadores de chama, estabilizadores, e outros aditivos.

Tal como nos casos anteriores, para selecionar os dados de ACV das membranas sintéticas de EPDM, foi utilizada a metodologia NativeLCA. A metodologia seguida foi idêntica ao descrito em 3.3.

Na Tabela 22, estão identificados os dados de ACV disponíveis para a produção de membranas sintéticas de EPDM, a nível Europeu. Foi encontrada apenas uma DAP individual.

Na Tabela 23, estão caracterizadas as bases de dados que contêm informação sobre membranas de impermeabilização de EPDM.

Tabela 22 - Dados disponíveis para membranas sintéticas de EPDM

| Produto                    | Conjunto de dados de ACV |              |   |                        |
|----------------------------|--------------------------|--------------|---|------------------------|
|                            | Europa                   |              |   |                        |
|                            | DAP individuais          | DAP conjunta | Dados de ACV de um país ou média europeia | Dados de ACV genéricos |
| Membrana sintética de EPDM | 1                        | 0            | 0   | 0                      |

Tabela 23 - Caracterização das bases de dados com DAP de membranas sintéticas de EPDM

| Acrónimo                                      | IBU  |
|---|--|
| Designação da base de dados / Programa de DAP | Institute Construction and Environmental                   |
| País  | Alemanha   |
| Tipo de bases de dados de ACV                 | DAP individual   |
| Procedimento de amostragem                    | Uma DAP de uma empresa (Palwittraa GmbH & Co. Klaus Gobel) |
| Número de produtos englobados                 | 6  |

Na Tabela 24, apresenta-se a informação que permite verificar a consistência dos dados apresentados nesta base de dados.

Tabela 24 - Dados necessários para verificar a consistência

| Características       | IBU  |
|-----------------------|--|
| Metodologia/RCP       | ISO 14025:2007   |
| Unidade funcional     | 1 m <sup>2</sup>   |
| Limites do sistema    | A1-D   |
| Embalagem             | Sim  |
| Crítérios de exclusão | São considerados todos os dados recolhidos: matérias-primas, energia térmica, consumo energético e resíduos. São considerados materiais e fluxos energéticos com percentagem inferior a 1% |
| Regras de alocação    | Os dados do produto foram determinados relativamente à área total produzida  |
| Verificação           | Verificação externa  |

A partir da Tabela 24, conclui-se que, apesar de a DAP se encontrar na unidade funcional de 1 m<sup>2</sup>, os resultados seriam mais viáveis se a comparação ocorresse por kg, tal como referido no caso das membranas betuminosas.

Todos os dados são consistentes, tendo em consideração os modelos e os dados utilizados nos cálculos, e estão todos de acordo com o âmbito e objetivo deste estudo: mesma unidade funcional, disponível no mercado Europeu, inclui dados relativos a CRE-NR, PA e PAG, e incluem a fase de produção.

De modo a permitir resultados mais credíveis, foi também realizada uma verificação da representatividade de acordo com alguns parâmetros. Na Tabela 25 podem ser observados os vários parâmetros a comparar.

**Tabela 25 - Dados que permitem a verificação da representatividade**

| <b>Características</b>                      | <b>IBU</b>  |
|---|---|
| <b>Cobertura geográfica</b>                 | Alemanha  |
| <b>Representatividade tecnológica</b>       | Tecnologia comum  |
| <b>Dados de ACV de energia e transporte</b> | É considerado o transporte das matérias-primas e das embalagens, para o local, assim como o transporte de fim-de-vida |
| <b>Representatividade temporal</b>          | 2009  |
| <b>Possibilidade de contextualização</b>    | Não   |

Da Tabela 25, podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- só existem DAP com cobertura geográfica da Alemanha;
- a tecnologia utilizada na produção das membranas pode ser considerada genérica;
- a base de dados em questão não permite a contextualização dos dados;
- a DAP existente foi validada no que diz respeito à consistência dos dados e à sua representatividade.

Na Figura 17, pode-se observar os valores relativos aos impactes ambientais seleccionados (potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e consumo de recursos energéticos não-renováveis) da DAP em estudo. Para calcular o valor médio dos impactes ambientais das membranas sintéticas de EPDM apresentado na Figura 17, teve-se em conta apenas os produtos incluídos na DAP existente.

A partir da Figura 17, é possível verificar que os resultados são consistentes. No entanto, tal como foi feito no tipo de membranas anterior, criou-se a Figura 18.

Como se pode observar na Figura 18, todos os resultados se encontram próximos da linha de tendência, podendo todos os valores ser utilizados para o cálculo do valor médio europeu. Tendo em conta a análise anterior, concluiu-se que o valor a ser usado como genérico para o caso português é o valor médio europeu para membranas sintéticas de EPDM com embalagem.

Na Tabela 26, estão resumidas as decisões tomadas ao longo da aplicação da metodologia NativeLCA às membranas sintéticas de EPDM.

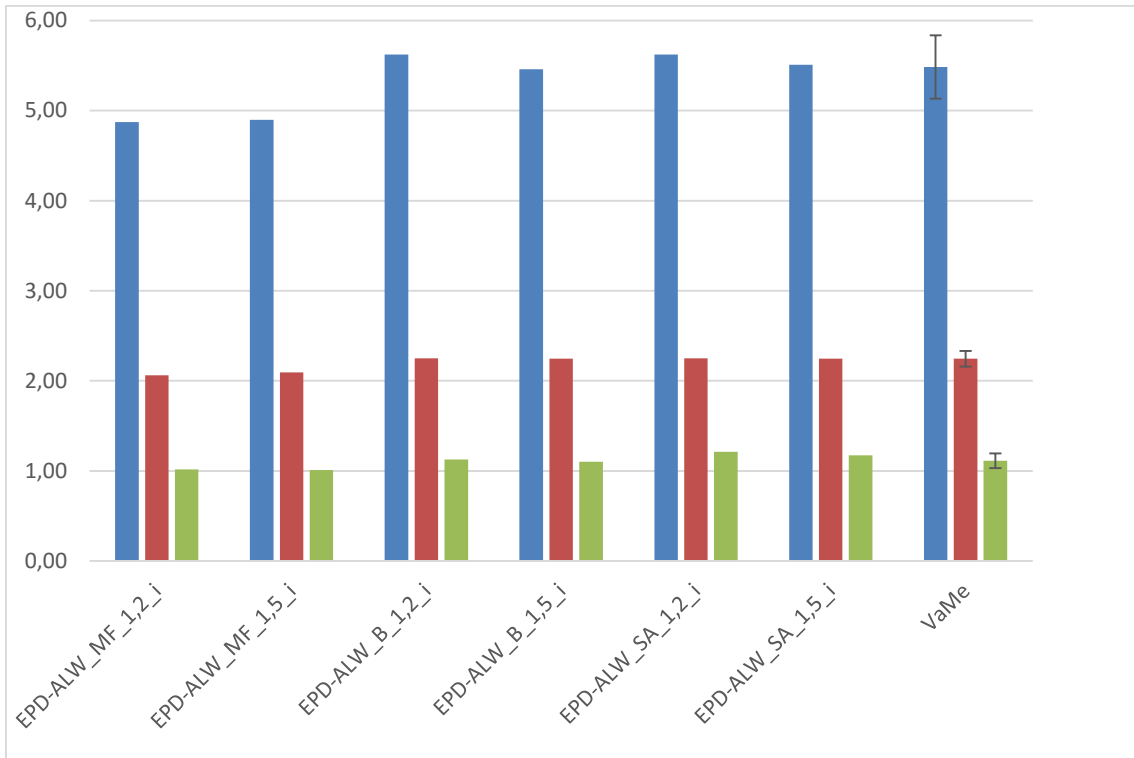


Figura 17 - PAG (a azul, kg eq CO<sub>2</sub>), PA (a vermelho, kg eq SO<sub>2</sub>\*10<sup>-2</sup>), CRE-NR (a verde, MJ\*10<sup>2</sup>), com desvio-padrão incluído no VaMe

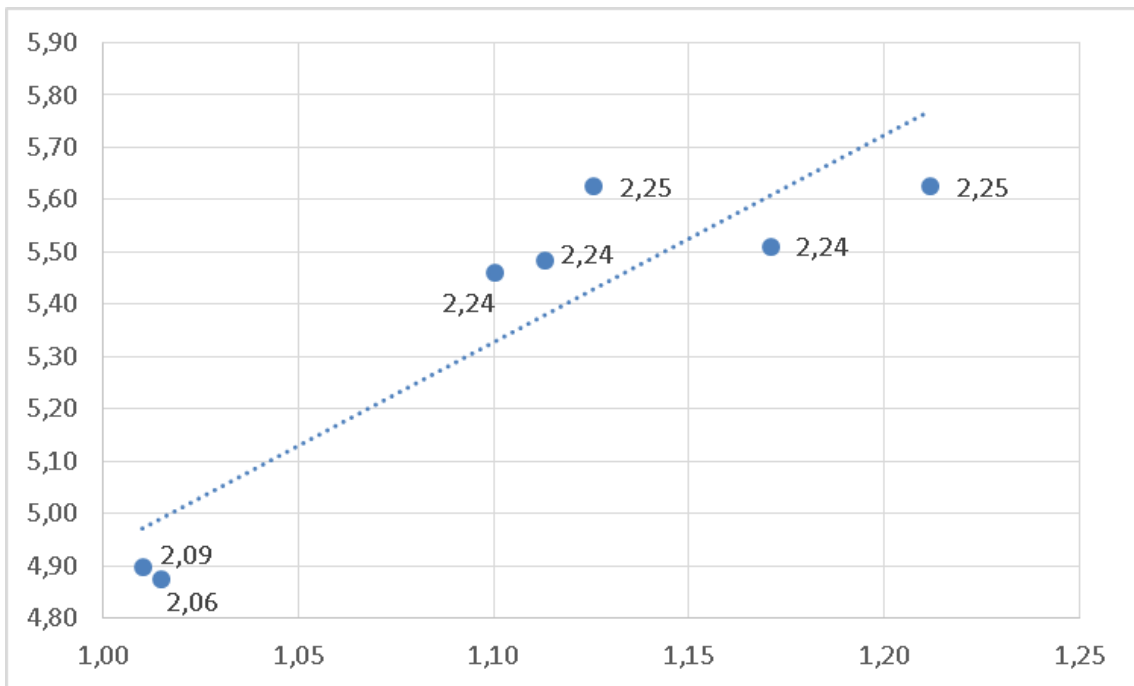


Figura 18 - CRE-NR (em abcissas, \*10<sup>2</sup> MJ), PAG (em ordenadas, kg eq CO<sub>2</sub>), em que cada ponto representa os valores de PA (\*10<sup>-2</sup> kg eq SO<sub>2</sub>)

**Tabela 26 - Resumo das decisões tomadas em cada passo da aplicação do NativeLCA para membranas sintéticas de EPDM**

| <b>Consistência e representatividade</b> | <b>Possibilidade de serem usados na quantificação de valores médios (VaMe) para ICV e indicadores de AICV</b> | <b>Seleção de dados de ACV coerentes para serem utilizados genericamente em contexto nacional: NativeLCA</b> |
|--|---|--|
| Todas as DAP foram consideradas válidas  | Cálculo de valor médio Europeu, incluindo a embalagem   | VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana sintética de EPDM com embalagem (A1-A3.1)          |

## 4. Avaliação do custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização

### 4.1. Metodologia de avaliação dos custos do ciclo de vida

A componente económica de uma solução de impermeabilização é calculada utilizando a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), que é um processo que permite avaliar o desempenho económico de um produto, durante o seu ciclo de vida (REIDY, 2005). Nesta metodologia, avalia-se não só o custo do investimento, mas também os custos da “produção, transporte, instalação, operação, manutenções programadas, desativação, reposição, reuso ou reciclagem” (SANTOS, 2010). A avaliação do custo de ciclo de vida permite comparar despesas relativas a um determinado período de tempo de um produto, tendo em conta todos os fatores económicos intervenientes (ISO 15686-5, 2008).

### 4.2. Custo do Ciclo de Vida de cada solução de impermeabilização

A avaliação do custo de cada solução impermeabilização foi realizada para as membranas betuminosas aditivadas, membranas sintéticas - PVC, TPO/FPO e EPDM, ou seja, para as soluções cujos impactes ambientais foram quantificados no Capítulo 3. A unidade funcional considerada para cada tipo de membrana é “um metro quadrado de impermeabilização, durante 50 anos”.

Apesar de a metodologia de ACCV incluir os custos de transporte, estes não são tidos em consideração nos valores do custo das diversas membranas apresentadas, uma vez que não foram fornecidos pelas empresas consultadas. Assim, os valores de custo de aquisição apresentados não incluem os custos de transporte, nem IVA, nem qualquer tipo de desconto, mas sendo preços de venda finais incluem os custos indirectos e o lucro.

O custo do ciclo de vida de cada solução deve ser calculado para um período de 50 anos, para que estas possam ser comparáveis. Tem assim de se ter em conta que diferentes soluções de impermeabilização têm diferentes durabilidades (ex.: 10, 15 ou 30 anos), e necessitam de ser substituídas com diferentes intervalos. Para comparar as soluções em estudo, utiliza-se o conceito de VAL (valor atualizado líquido) que contempla todos os *cash-flows* positivos e negativos existentes durante o período em análise. Para calcular o VAL de cada solução, utiliza-se a equação (1).

$$VAL = \frac{C_n}{(1+t)^n} \quad (1)$$

Em que:

$C_n$  - custo económico da solução no ano  $n$ ;

$t$  - taxa de atualização (a custos constantes, não considerando risco) aplicada.

No momento da substituição, surge um novo custo de aquisição e de aplicação, sendo necessário atualizar os custos para o ano 0, aplicando uma taxa de atualização que neste caso foi definida como sendo 2%. Utilizou-se este valor porque se optou por uma abordagem conservativa. Apesar de ser um pouco baixo tendo em conta o contexto português, é um valor que não considera risco (equivalente a uma aplicação financeira segura).

Na determinação do custo de ciclo de vida, foram adotadas algumas simplificações, uma vez que não teriam influência significativa nos resultados:

- não se considerou o custo de reparações da impermeabilização devido à incerteza e imprevisibilidade de ocorrência;
- apenas se consideraram substituições integrais do sistema de impermeabilização, uma vez que para reparações pontuais utilizam-se frequentemente membranas líquidas, material para o qual não se encontraram dados relativos aos impactos ambientais nas bases de dados consultadas;
- não se considerou o custo de remoção da impermeabilização existente, uma vez que pode ser desprezável (no caso das membranas sintéticas de PVC, TPO/FPO e EPDM) ou pode não existir (no caso das membranas betuminosas);
- não se considerou o custo de demolição, porque se assume que no ano 50 ocorrerá a demolição para todas as soluções, não havendo diferenças significativas deste custo entre as alternativas em estudo.

#### **4.2.1. Membrana betuminosa aditivada**

Os custos das membranas betuminosas aditivadas variam consoante a sua constituição e a utilização a dar à cobertura em que serão instaladas. De forma a ter maior representatividade no mercado português, tentou-se considerar o maior número possível de alternativas para a colocação da membrana nas coberturas.

A unidade funcional definida é “um metro quadrado de impermeabilização, durante 50 anos”, mas nem todas as fontes de informação são coerentes quanto à durabilidade das membranas. Os valores mais comuns de durabilidade das membranas betuminosas aditivadas são 10 anos (RAPOSO, 2009), 15 anos (DIAS, 2008) e 10 a 15 anos (PERDIGÃO, 2007). No entanto, a durabilidade varia bastante consoante a exposição aos agentes atmosféricos. Assim sendo, optou-se por utilizar o valor de 25 anos de durabilidade para as membranas betuminosas em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada. Para a utilização de membranas autoprotetidas ou com proteção leve (seixo rolado) em sistemas tradicionais, tendo em consideração que é utilizado um sistema bicapa, definiu-se que a durabilidade da camada superior é de 15 anos, enquanto a camada inferior dura 30 anos.

Para membranas betuminosas, obteve-se dados para seis tipos de aplicação diferentes, consistindo em sistemas de impermeabilização à base de: membranas de betume com polímero APP para solução de cobertura invertida com acesso limitado, membranas de betume com polímero APP para solução de cobertura tradicional com acesso limitado, membrana de betume com polímero SBS para solução de cobertura tradicional com acesso limitado, membranas de betume com polímero APP para solução de cobertura invertida acessível, membranas de betume com polímero APP para solução de cobertura tradicional acessível e membrana de betume com polímero SBS para coberturas acessível.

A aplicação de membranas betuminosas é um processo diferente do das restantes em estudo, uma vez que, de modo a garantir redundância, se colocam duas membranas sobrepostas (a composição do sistema de impermeabilização com base em membranas betuminosas é

assim bicapa). No caso de sistemas bicapa, a ligação entre as membranas superior e inferior é feita exclusivamente com a chama do maçarico. O facto de existirem duas camadas sobrepostas faz com que seja necessário ter mais atenção com as juntas das membranas, devido aos pontos de potencial infiltração (SOTECNISOL, 2012).

A aplicação da camada superior pode ocorrer de duas formas distintas: com as juntas das camadas superior e inferior desencontradas ou com os rolos das membranas aplicados de forma cruzada. Na Figura 19, as duas camadas são aplicadas na mesma direção, mas de modo a que as juntas da camada superior não coincidam com as juntas da camada inferior, reduzindo os pontos de infiltração. Na Figura 20, a camada inferior é colocada na perpendicular à camada superior. Em ambas as formas de aplicação, é garantida a redundância da membrana.



**Figura 19 - Aplicação das camadas superior e inferior na mesma direção (ALIBABA, 2015)**



**Figura 20 - Aplicação das camadas superior e inferior em direções perpendiculares (CLICKINDIA, 2015)**

Na Tabela 27, encontram-se as características relativas aos tipos de membrana betuminosa para os quais se obteve os custos de mercado. Para cada tipo de membrana, definiu-se o tipo de solução em que deve ser utilizado, assim como o tipo de acessibilidade da cobertura. Todos os custos recolhidos foram facultados por uma mesma empresa (Imperialum, 2015).

Os custos recolhidos e apresentados na Tabela 27 dizem respeito a soluções de impermeabilização compostas por duas camadas, em que a camada inferior é revestida a polietileno em ambas as faces, mas a constituição da camada superior varia. É possível verificar que apenas em dois dos tipos de membranas a face superior da camada superior é composta por grãos de ardósia, dotando-as de autoproteção. As restantes membranas necessitarão de proteção externa.

Para definir os custos do ciclo de vida para 50 anos, calcula-se o VAL. No entanto, uma vez que as membranas betuminosas têm diferente durabilidade consoante a sua exposição, optou-se por apresentar o cálculo do custo do ciclo de vida duas tabelas. Na Tabela 28, pode-se observar o custo atualizado de aquisição das membranas betuminosas com proteção pesada. Para este tipo de membranas, tendo uma durabilidade de 25 anos, apenas é preciso calcular os custos atualizados no ano 25 pois é o único momento em que necessitará de ser substituída. No ano 50, considera-se que ocorre a demolição do edifício, não necessitando de substituições.



**Tabela 27 - Informação relativa às soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas (Imperialum, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Tipo de acessibilidade da cobertura | Tipo de cobertura em terraço | Autoproteção | Proteção adicional | Durabilidade (anos)                 |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------|--------------------|-------------------------------------|
| B1 - Membrana de betume polímero APP | Acesso limitado                     | Invertida                    | Não          | Sim                | 25                                  |
| B2 - Membrana de betume polímero APP | Acesso limitado                     | Tradicional                  | Sim          | Não                | camada: superior -15; inferior - 30 |
| B3 - Membrana de betume polímero SBS | Acesso limitado                     | Tradicional                  | Sim          | Não                | camada: superior -15; inferior - 30 |
| B4 - Membrana de betume polímero APP | Acessível a pessoas                 | Invertida                    | Não          | Sim                | 25                                  |
| B5 - Membrana de betume polímero APP | Acessível a pessoas                 | Tradicional                  | Não          | Sim (pesada)       | 25                                  |
| B6 - Membrana de betume polímero SBS | Acessível a pessoas                 | Não específica               | Não          | Sim (pesada)       | 25                                  |

**Tabela 28 - Custo de atualizado de aquisição das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada (Imperialum, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 25 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| B1                                   | 7,42                            | 4,52                             | 11,94                                      |
| B4                                   | 9,76                            | 5,95                             | 15,71                                      |
| B5                                   | 9,76                            | 5,95                             | 15,71                                      |
| B6                                   | 10,80                           | 6,58                             | 17,38                                      |

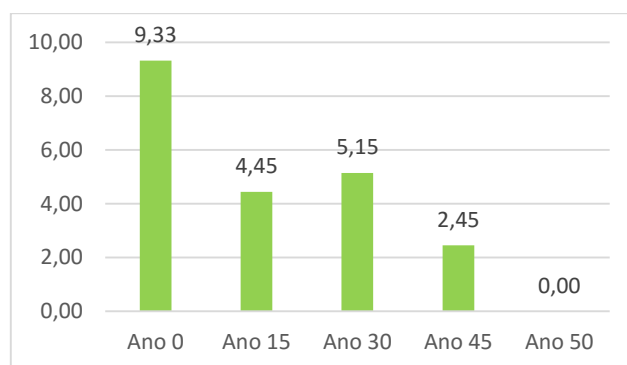
No caso das membranas betuminosas autoprotégidas ou com proteção leve, é necessário substituir a camada superior a cada 15 anos, e a camada inferior a cada 30 anos. Na Tabela 29, pode-se observar o custo atualizado de aquisição para este tipo de membranas. No ano 15, atualiza-se apenas o custo da camada superior (5,98€ para B2 e 4,54€ para B3) e, no ano 30, considera-se o custo das duas camadas.

**Tabela 29 - Custo atualizado de aquisição das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas autoprotégidas ou com proteção leve (seixo rolado) em sistemas tradicionais (Imperialum, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 15 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 30 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 45 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| B2                                   | 9,33                            | 4,45                             | 5,15                             | 2,45                             | 21,37                                      |
| B3                                   | 8,57                            | 3,37                             | 4,73                             | 1,86                             | 18,53                                      |

O custo das membranas para coberturas acessíveis não varia muito. No entanto, dentro das membranas betuminosas para coberturas de acesso limitado, no sistema tradicional observa-se um aumento de preços pois, além destas membranas serem autoprotégidas, exigem uma substituição mais frequente.

Na Figura 21, pode-se observar o custo de aquisição e das respectivas substituições para um exemplo de membrana, atualizados para o ano 0.



**Figura 21 - Custos atualizados de aquisição para a opção B2 (€/m²)**

Além do custo de aquisição, é necessário ter em conta o de aplicação. Este custo, que se pode observar na Tabela 30, é o mesmo para todas as soluções em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, e contempla a aplicação das duas camadas.

**Tabela 30 - Custo atualizado de aplicação das membranas betuminosas, em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada**

| Custo ano 0 (€/m²) | Custo ano 25 (€/m²) | Custo do ciclo de vida (€/m²) |
|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| 2,44               | 1,49                | 3,93                          |

Para o caso das membranas sem proteção pesada, o custo de aplicação varia consoante se aplique uma camada ou duas camadas. Nos anos 15 e 45, apenas se atualiza o custo de aplicação de uma camada, como se pode observar na Tabela 31.

**Tabela 31 - Custo atualizado de aplicação das membranas betuminosas autoprotégidas ou com proteção leve (seixo rolado) em sistemas tradicionais**

| Custo ano 0 (€/m²) | Custo ano 15 (€/m²) | Custo ano 30 (€/m²) | Custo ano 45 (€/m²) | Custo do ciclo de vida (€/m²) |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| 2,44               | 0,91                | 1,35                | 0,50                | 5,19                          |

Uma vez obtido o valor do custo de aplicação ao fim de 50 anos, é possível calcular o custo total, de aquisição e aplicação, de cada solução à base de membrana betuminosa em estudo, cujo valor pode ser observado na Tabela 32.

Como seria de esperar, uma vez que o custo de aplicação é o mesmo para todas as membranas, o custo total mantém a proporcionalidade com os custos de aquisição. Isto é, as membranas para coberturas de acesso limitado, no sistema tradicional, são as mais caras, devido à autoproteção da camada superior e ao número de substituições.

**Tabela 32 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas betuminosas, durante 50 anos**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Custo do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|---|---|
| B1 - Membrana de betume polímero APP        | 15,87   |
| B2 - Membrana de betume polímero APP        | 26,57   |
| B3 - Membrana de betume polímero SBS        | 23,72   |
| B4 - Membrana de betume polímero APP        | 19,64   |
| B5 - Membrana de betume polímero APP        | 19,64   |
| B6 - Membrana de betume polímero SBS        | 21,31   |

#### **4.2.2. Membrana sintética - PVC**

Os valores da durabilidade deste tipo de membranas variam consoante a fonte, tal como nas membranas betuminosas. Existem os seguintes valores de referência: 20 a 25 anos (PERDIGÃO, 2007), 25 a 30 anos (Arte y cemento, 2015) e 30 anos (Soludimper, 2015; Técnica, 2015). No entanto, decidiu-se atribuir durabilidade diferente tendo em conta a exposição da membrana. No caso das membranas com autoproteção, e/ou sem qualquer tipo de proteção adicional, optou-se por usar o valor de 15 anos para a durabilidade. Nas soluções em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, optou-se por definir, como vida útil, o valor de 30 anos.

A aplicação da membrana de PVC começa com a aplicação de uma cola, quer na superfície, quer na face inferior da membrana. Deve-se ter em atenção que os rolos, depois de desenrolados, devem estar sobrepostos, nas zonas das juntas (longitudinais e transversais), pelo menos 5 cm. A ligação entre as membranas é feita ao longo de todo o comprimento das juntas, com recurso a termosoldadura por meio de ar quente, como se pode observar na Figura 22 (SOTECNISOL, 2012).



**Figura 22 - Termossoldadura a ar quente da membrana sintética de PVC (TEXSA, 2015)**

Após a pesquisa de mercado, foram encontrados os custos de venda para os seguintes tipos de aplicação da membrana: membrana de PVC - Imperplan G15 e F15 (Imperialum, 2015) e membrana de PVC plastificado (SIKA, 2015). Algumas das características do tipo de cobertura onde estas membranas devem ser utilizadas encontram-se descritas na Tabela 33.

**Tabela 33 - Informação relativa às membranas sintéticas de PVC em estudo**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Tipo de acessibilidade</b> | <b>Tipo de cobertura em terraço</b> | <b>Autoproteção</b> | <b>Proteção adicional</b> | <b>Durabilidade (anos)</b>         |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|
| PVC1 - Membrana de PVC                      | Acessível a pessoas           | Não específica                      | Não                 | Sim (pesada)              | 30                                 |
| PVC2 - Membrana de PVC                      | Acesso limitado               | Não específica                      | Sim                 | Não específica            | 15 (tradicional) ou 30 (invertida) |
| PVC3 - Membrana de PVC plastificado         | Acesso limitado               | Tradicional                         | Sim                 | Não                       | 15                                 |

A membrana PVC 2 pode ser utilizada em coberturas de acesso limitado, do tipo tradicional ou invertida. A durabilidade deste tipo de membrana foi assim dividida consoante a sua utilização (Tabela 33): se a membrana for usada numa cobertura tradicional, uma vez que a membrana fica exposta, sem qualquer tipo de proteção além da autoproteção, tem uma durabilidade de 15 anos (PVC2.2); no entanto, se for usada numa cobertura não acessível invertida, a durabilidade será de 30 anos (PVC2.1).

Apesar de os dados serem fornecidos por diferentes empresas, Imperialum e SIKA, são relativos a diferentes materiais, tendo-se optado por manter as três tipologias, sendo que uma das tipologias divide-se em duas soluções. Das três membranas, apenas a membrana acessível a pessoas não possui autoproteção, necessitando de proteção pesada (Imperialum, 2015).

Na Tabela 34, pode-se observar o custo de cada tipo de membrana sintética de PVC, com proteção pesada, no ano 0 e no ano 30 (atualizado para o ano 0), assim como a soma destas duas parcelas.

**Tabela 34 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de PVC em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada (Imperialum, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 30 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| PVC1                                 | 13,66                           | 7,54                             | 21,20                                      |
| PVC2.1                               | 14,19                           | 7,83                             | 22,02                                      |

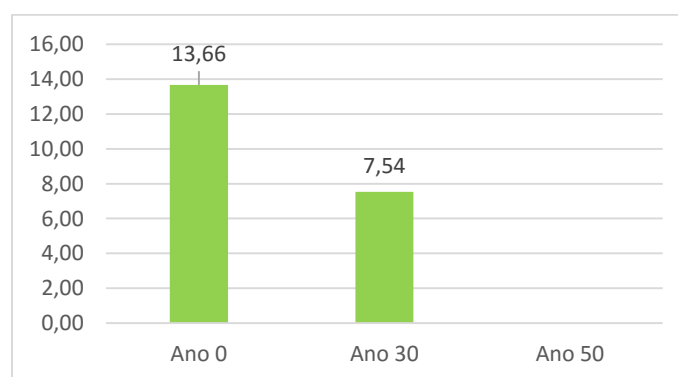
Neste tipo de membranas pode-se observar que não há grande variação do custo de ciclo de vida entre as duas soluções. No entanto, no caso das membranas a utilizar em coberturas de acesso limitado, tradicionais, a substituição ocorre a cada 15 anos, podendo fazer variar mais os custos do ciclo de vida, em comparação com os anteriores. Os custos atualizados para estas membranas podem ser observados na Tabela 35.

**Tabela 35 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de PVC em coberturas de acesso limitado, tradicionais (Imperialum, 2015; Sika, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 15 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 30 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 45 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| PVC2.2                               | 14,19                           | 10,54                            | 7,83                             | 5,82                             | 38,39                                      |
| PVC3                                 | 14,16                           | 10,52                            | 7,82                             | 5,81                             | 38,31                                      |

Como se pode observar na Tabela 35, o custo das soluções PVC2 e PVC3 para membranas com autoproteção é similar. No entanto, quando comparado com as soluções com proteção pesada, tornam-se soluções menos económicas, embora com âmbitos de aplicação diferentes.

Sendo a durabilidade das membranas de PVC em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, de 30 anos, e uma vez que a unidade funcional foi definida para 50 anos, é necessário considerar, além do custo de aquisição no ano 0, uma substituição no ano 30, como se pode observar na Figura 23.



**Figura 23 - Custos atualizados de aquisição para a opção PVC1 (€/m<sup>2</sup>)**

O custo de aplicação destas membranas é o mesmo para os três tipos. No entanto, o custo do ciclo de vida da aplicação das membranas vai variar, consoante o número de substitui-

ções que será necessário realizar. Na Tabela 36, é possível observar o custo de aplicação da membrana em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, nos vários momentos de aplicação. Na Tabela 37 pode-se observar o mesmo, mas para membranas em coberturas de acesso limitado, tradicionais.

Uma vez calculado o valor de aquisição e aplicação de cada tipo de membrana em estudo, para um período de 50 anos, é possível calcular o custo do ciclo de vida, como se pode ver na Tabela 38.

**Tabela 36 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de PVC em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada**

| Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 30 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|
| 2,22                            | 1,23                             | 3,45                                       |

**Tabela 37 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de PVC em coberturas de acesso limitado, tradicionais**

| Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 15 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 30 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 45 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| 2,22                            | 1,65                             | 1,23                             | 0,91                             | 6,01                                       |

**Tabela 38 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de PVC, durante 50 anos (Imperialum, 2015; Sika, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|--|
| PVC1 - Membrana de PVC               | 24,65                                      |
| PVC2.1 - Membrana de PVC             | 25,47                                      |
| PVC2.2 - Membrana de PVC             | 44,39                                      |
| PVC3 - Membrana de PVC plastificado  | 44,31                                      |

Neste tipo de membrana, é possível observar que, apesar de os custos iniciais serem próximos, o tipo de cobertura em que é utilizada tem grande influência. As membranas PVC1 e PVC2.1, que têm maior proteção e são substituídas menos vezes, apresentam custos muito mais baixos no ciclo de vida do que as PVC2.2 e PVC3, embora o âmbito de aplicação não se sobreponha.

#### **4.2.3. Membrana sintética - TPO/FPO**

Tal como nos casos anteriores, existem diversos valores de durabilidade deste tipo de membranas referidos na bibliografia: 25 a 30 anos (Liners; 2015) e 50 anos (Firestone; 2015). Também como nos caso anteriores, optou-se por atribuir valores de durabilidade diferentes,

para diferentes utilizações da membrana. Para membranas de TPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, usou-se o valor de 35 anos para a durabilidade, enquanto nos casos de membranas sem qualquer tipo de proteção (leve ou pesada) se optou por 20 anos. Para comparar os custos entre os diferentes tipos de membrana, será necessário calcular os custos para a vida útil pretendida de 50 anos.

A aplicação das membranas de TPO/FPO faz-se através da colocação dos rolos. Os rolos devem estar sobrepostos nas zonas das juntas 11 cm se a fixação for mecânica, e 5 cm se for por adesão. Para aplicar as membranas com fixação mecânica, como se pode observar na Figura 24, coloca-se parafusos afastados 10 mm das extremidades. Posteriormente, as juntas são soldadas com ar quente (KOSTER, 2015).



**Figura 24 - Exemplo de aplicação da membrana sintética de TPO/FPO (KENYONROOFING, 2015)**

Após a pesquisa de mercado, foram encontrados os custos para os seguintes tipos de aplicação da membrana: membrana de TPO (lâmina flexível de poliolefinas) para cobertura não acessível com espessura de 1,14 mm e 1,5 mm (Danosa, 2015; Liners, 2015). Na Tabela 39, pode ainda observar-se a necessidade de autoproteção relativa a cada solução. Nesta tabela, estão presentes apenas dois tipos de membranas porque se optou por apresentar o valor médio das duas empresas para as mesmas soluções, nomeadamente para as soluções com espessura de 1,14 mm e 1,5 mm.

**Tabela 39 - Informação relativa às membranas sintéticas de TPO/FPO**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Tipo de acessibilidade</b> | <b>Tipo de cobertura em terraço</b> | <b>Autoproteção</b> | <b>Proteção adicional</b> | <b>Durabilidade (anos)</b>         |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|
| TPO1 - Membrana TPO - espessura 1,14 mm     | Acesso limitado               | Não específica                      | Não                 | Não necessita             | 20 (tradicional) ou 35 (invertida) |
| TPO2 - Membrana TPO - espessura 1,5 mm      | Acessível a pessoas           | Não específica                      | Não                 | Não necessita             | 35                                 |

Apesar de não ser necessário autoproteção em todas as situações expostas onde a membrana de TPO se pode utilizar, pode ser colocado seixo rolado para auxiliar no sistema de fixação.

A membrana TPO2, uma vez que é utilizada em coberturas acessíveis a pessoas, tem de possuir proteção pesada, tendo por isso durabilidade de 35 anos. A membrana TPO1 pode ser utilizada em coberturas de acesso limitado do tipo invertida ou tradicional. No caso de ser utilizada no segundo tipo de coberturas (TPO1.1), a membrana fica exposta e a durabilidade é de 20 anos, enquanto que se for utilizada em coberturas do tipo invertida (TPO1.2), a vida útil passa a ser de 35 anos, pois está mais protegida.

Para um período de estudo de 50 anos, é necessário realizar uma substituição no caso de membranas em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, e duas substituições para membranas sem proteção. A necessidade de realizar substituições implica o cálculo do valor atualizado líquido para a taxa de atualização definida. Assim sendo, o valor do custo de aquisição da membrana no ano 0 será diferente do custo nos anos em que ocorrerá a substituição.

Na Tabela 40, pode-se observar o custo de cada tipo de membrana em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, nos anos 0 e 35, bem como o custo total relativo no ciclo de vida à aquisição.

**Tabela 40 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de TPO/FPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada (Danosa, 2015; Liners, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 35 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| TPO1.2                               | 9,22                            | 4,61                             | 13,83                                      |
| TPO2                                 | 11,06                           | 6,10                             | 17,16                                      |

No caso da membrana TPO1.1, por não ter qualquer tipo de proteção, terá de ser substituída mais vezes: a cada 20 anos. Na Tabela 41, pode-se observar o custo do ciclo de vida dessa mesma membrana.

**Tabela 41 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de TPO/FPO, sem proteção (Danosa, 2015; Liners, 2015)**

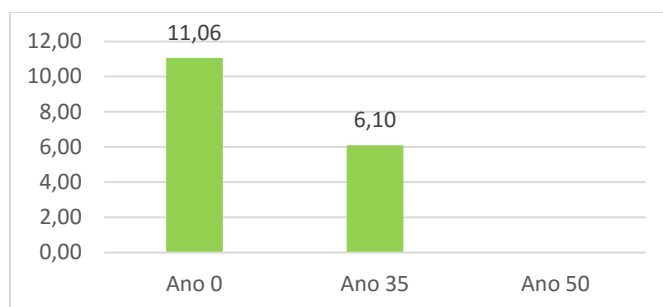
| Tipo de solução de impermeabilização | Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 20 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 40 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| TPO1.1                               | 9,22                            | 5,09                             | 4,18                             | 18,49                                      |

Como se pode observar, o custo inicial da membrana TPO2 é mais elevado, por ter maior espessura. No entanto, se a membrana TPO1 for utilizada numa cobertura de acesso limitado, do tipo tradicional, tem de ser substituída mais vezes, tornando-se mais cara do que a TPO2 (embora o âmbito de aplicação seja diferente).

A durabilidade das membranas de TPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada, é de cerca de 35 anos, mas é necessário ajustar esses valores para poder comparar com as restantes soluções. Assim, uma vez que a unidade funcional está definida como sendo 50 anos, será necessário, além da aquisição da membrana para o ano 0, uma substituição no ano 35, como se pode observar na Figura 25.



O custo de aplicação é o mesmo para todas as soluções (8,50 €/m<sup>2</sup>). No entanto, o custo do ciclo de vida desta operação será tanto maior, quanto maior for o número de substituições. Nas Tabela 42 e na Tabela 43, pode-se observar o custo de aplicação das membranas de TPO/FPO em sistemas invertidos (ou tradicionais com proteção pesada) e sem proteção, respetivamente.



**Figura 25 - Custos atualizados de aquisição para a opção TPO2 (€/m<sup>2</sup>)**

**Tabela 42 - Custo atualizado de aplicação das membranas sintéticas de TPO/FPO em sistemas invertidos, ou tradicionais com proteção pesada**

| Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 35 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|
| 8,50                            | 4,25                             | 12,75                                      |

**Tabela 43 - Custo atualizado de aplicação das membranas sintéticas de TPO/FPO, sem proteção**

| Custo ano 0 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 20 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo ano 40 (€/m <sup>2</sup> ) | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
| 8,50                            | 5,72                             | 3,85                             | 18,07                                      |

Depois de calculado os custos de aquisição e aplicação, é possível calcular o custo do ciclo de vida de cada solução. Na Tabela 44, pode-se observar o custo do ciclo de vida de cada tipo de membrana.

**Tabela 44 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de TPO/FPO, durante 50 anos (Danosa, 2015; Liners, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização      | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) |
|---|--|
| TPO1.1 - Membrana TPO - espessura 1,14 mm | 36,56                                      |
| TPO1.2 - Membrana TPO - espessura 1,14 mm | 26,58                                      |
| TPO2 - Membrana TPO - espessura 1,5 mm    | 29,91                                      |

Como se pode observar na Tabela 44, o custo do ciclo de vida da membrana TPO1.1 é superior ao dos restantes, apesar de o seu custo inicial ser mais baixo do que o da TPO2. Isto deve-se ao facto de ser uma membrana que, por não ter qualquer tipo de proteção, necessita

de ser substituída mais frequentemente do que as restantes. A membrana TPO1.2 é a mais económica de todas porque, além de ter um custo inicial inferior à TPO2, não precisa de ser substituída tantas vezes como a TPO1.1 (embora esta última tenha um âmbito de aplicação diferente).

#### 4.2.4. Membrana sintética - EPDM

No caso das membranas sintéticas de EPDM, foi encontrado apenas um valor para a durabilidade: 50 anos (Liners, 2015). No entanto, optou-se por usar valores mais conservativos, e por diferenciar a vida útil destas membranas tendo em conta a respetiva proteção. Assim, definiu-se que, para membranas de EPDM sem qualquer tipo de proteção (cobertura tradicional de acesso limitado), o valor de vida útil seria de 20 anos e, para membranas com proteção pesada (cobertura invertida, ou tradicional acessível a pessoas), esse valor seria de 40 anos.

A aplicação deste tipo de membrana começa pela colocação de cola quer na superfície quer na parte inferior da membrana. A fixação da membrana à superfície pode ocorrer através de fixação mecânica, adesão ou devido ao peso dos agregados que serão colocados por cima da membrana (Johns Manville, 2015). Na Figura 26, pode-se observar uma membrana de EPDM com fixação mecânica.



Figura 26 - Exemplo de aplicação da membrana sintética de EPDM (LSR COMMERCIAL, 2015)

Após uma pesquisa de mercado, foram encontrados os custos para os seguintes tipos de aplicação da membrana: membrana elastomérica EPDM para cobertura acessível (espessura de 1,5 mm) e membrana elastomérica EPDM para cobertura não acessível (espessura de 1,14 mm) (Liners, 2015). Na Tabela 45 pode-se observar as principais características que a cobertura deve ter para que a membrana seja aplicada, bem como informação relativa à empresa que forneceu os dados.

A membrana EPDM1, a utilizar em coberturas de acesso limitado, do tipo tradicional ou invertida, tem uma durabilidade que depende da sua utilização. No caso de ser utilizada em coberturas de acesso limitado do tipo tradicional (EPDM1.1), a durabilidade é de 20 anos, por se encontrar exposta. Se for utilizada em coberturas de acesso limitado do tipo invertida (EPDM1.2), a durabilidade é de 40 anos, por existir proteção suficiente para prolongar a respetiva durabilidade.

**Tabela 45 - Informação relativa às membranas sintéticas de EPDM**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b>            | <b>Tipo de acessibilidade</b> | <b>Tipo de cobertura em terraço</b> | <b>Autoproteção</b> | <b>Proteção adicional</b> | <b>Durabilidade (anos)</b>         |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|
| EPDM1 - Membrana elastomérica EPDM - espessura 1,14 mm | Acesso limitado               | Não específica                      | Não                 | Não necessita             | 20 (tradicional) ou 40 (invertida) |
| EPDM2 - Membrana elastomérica EPDM - espessura 1,5 mm  | Acessível a pessoas           | Não específica                      | Não                 | Não necessita             | 40                                 |

Relativamente às membranas de EPDM apenas foram obtidos os custos de uma empresa (Liners, 2015) mas para dois tipos de membranas, a ser utilizadas em diferentes tipos de coberturas. Apesar de os tipos de membranas expostos não necessitarem de proteção adicional, pode ser utilizado seixo rolado para auxiliar o sistema de proteção.

As soluções de impermeabilização com proteção pesada terão uma durabilidade de 40 anos, necessitando apenas de uma substituição. Na Tabela 46, pode-se observar o custo do ciclo de vida destas membranas de EPDM.

**Tabela 46 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de EPDM, com proteção pesada (Liners, 2015)**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Custo ano 0 (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Custo ano 40 (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Custo do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---|
| EPDM1.2                                     | 10,56                                | 4,78                                  | 15,34   |
| EPDM2                                       | 13,33                                | 6,03                                  | 19,37   |

No caso da membrana EPDM1.1, que é utilizada em coberturas de acesso limitado, do tipo tradicional, a durabilidade é de apenas 20 anos. Neste caso, são necessárias mais substituições, afetando o custo do ciclo de vida, como se pode observar na Tabela 47.

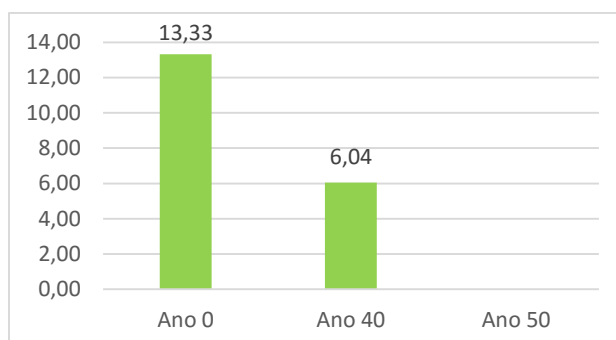
**Tabela 47 - Custo atualizado de aquisição das membranas sintéticas de EPDM, sem proteção (Liners, 2015)**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Custo ano 0 (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Custo ano 20 (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Custo ano 40 (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Custo do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| EPDM1.1                                     | 10,56                                | 7,11                                  | 4,78                                  | 22,45   |

O custo das membranas sem proteção é mais elevado do que das restantes, apesar de o seu custo inicial ser o mesmo do da membrana EPDM1.2, devido ao maior número de substituições.

A durabilidade deste estudo corresponde a uma unidade funcional de 40 anos. Desse modo, os custos relativos à membrana EPDM2 ocorrerão apenas nos anos 0 e 40, como se pode observar na Figura 27.

O custo de aplicação é igual para os dois tipos de membranas. No entanto, o custo do ciclo de vida de aplicação varia consoante o número de substituições que é necessário efetuar. Nas Tabela 48 e na Tabela 49, pode-se observar o custo de aplicação das membranas, com proteção pesada e sem proteção.



**Figura 27 - Custos atualizados de aquisição para a opção EPDM2 (€/m²)**

**Tabela 48 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de EPDM, com proteção pesada**

| Custo ano 0 (€/m²) | Custo ano 40 (€/m²) | Custo do ciclo de vida (€/m²) |
|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| 10,00              | 4,53                | 14,53                         |

**Tabela 49 - Custo de aplicação das membranas sintéticas de EPDM, sem proteção**

| Custo ano 0 (€/m²) | Custo ano 20 (€/m²) | Custo ano 40 (€/m²) | Custo do ciclo de vida (€/m²) |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| 10,00              | 6,73                | 4,53                | 21,26                         |

O custo de aplicação é diferente, consoante a membrana tenha proteção pesada ou não tenha qualquer tipo de proteção, devido ao diferente número de substituições.

O custo do ciclo de vida, considerando a aquisição e aplicação das membranas, pode ser observado na Tabela 50.

**Tabela 50 - Custo do ciclo de vida das soluções de impermeabilização com base em membranas sintéticas de EPDM, durante 50 anos (Liners, 2015)**

| Tipo de solução de impermeabilização                     | Custo do ciclo de vida (€/m²) |
|--|-------------------------------|
| EPDM1.1 - Membrana elastomérica EPDM - espessura 1,14 mm | 43,71                         |
| EPDM1.2 - Membrana elastomérica EPDM - espessura 1,14 mm | 29,87                         |
| EPDM2 - Membrana elastomérica EPDM - espessura 1,5 mm    | 33,90                         |

Entre as várias opções de membranas de EPDM, observa-se que a EPDM1.1 tem um custo superior ao das restantes, apesar de ter o mesmo custo inicial do que o da EPDM 1.2 e

de não ter o mesmo âmbito de aplicação, pois exige maior número de substituições. A membrana de EPDM 1.2 é a mais económica pois, além de precisar apenas de uma substituição, tal como a EPDM2, tem menor custo inicial (por ter menos espessura).

## **5. Avaliação do ciclo de vida económico e ambiental das soluções de impermeabilização**

### **5.1. Metodologia de avaliação do ciclo de vida económico e ambiental**

A componente ambiental do desempenho de determinado produto é muito importante. No entanto, há outra componente que não pode ser posta de parte aquando da escolha da solução de impermeabilização a utilizar num edifício: a económica. Para se considerar estas duas dimensões, deve-se usar um método de análise que permita a comparação de alternativas que respeitem determinados requisitos (mesmo que não sejam funcionalmente equivalentes), a quantificação de aspetos ambientais e económicos e a comparação simultânea dos aspetos referidos (SILVESTRE, 2012).

A metodologia utilizada neste estudo foi a 3E-C2C, a qual avalia os materiais a nível económico, ambiental (e também energético - 3E, do inglês *economic, environmental and energy*) do berço ao berço (C2C, do inglês *cradle-to-cradle*), ou seja, ao longo de todo o ciclo de vida (SILVESTRE, 2012). Neste estudo, a comparação será apenas entre as componentes ambiental e económica, incluindo as fases de produção e de manutenção (substituição no final da vida útil) do sistema de impermeabilização.

A unidade funcional é “1 m<sup>2</sup> de impermeabilização, durante 50 anos”. No Capítulo 4, são calculados os custos de aquisição e aplicação das membranas, consoante o número de substituições necessárias durante o ciclo de vida do edifício. No momento de cada substituição, foi necessário calcular os custos de aquisição e aplicação atualizados. No entanto, os valores dos impactes ambientais potenciais em cada fase do ciclo de vida são absolutos e não se atualizam. Considera-se assim que os impactes da produção da membrana no ano 0 são os mesmos do que os provocados pela produção da membrana necessária à substituição no ano 10, 15 ou 30, por exemplo.

### **5.2. Avaliação do desempenho ambiental**

Para comparar as soluções em estudo, optou-se por utilizar apenas os fatores ambientais mais significativos relativos a todos os tipos de membranas. Assim, além do custo do ciclo de vida de cada tipo de membrana, optou-se por usar como comparação os dois impactes ambientais mais significativos, que em seguimento da análise realizada no capítulo 3 se concluiu serem o PAG e CRE-NR (categorias com maior importância em termos internacionais, expressa nos estudos de energia incorporada e pegada de carbono). Nesta fase, não é avaliada em detalhe o motivo de umas soluções terem menor ou maior impacte ambiental, uma vez que não é possível recolher esse tipo de informação nas DAP.

Na Tabela 51, estão representados os valores médios de cada impacto ambiental para cada tipo de membrana, com base nos resultados do Capítulo 3.

Os impactos na tabela anterior referem-se à produção de um quilograma de membrana. No entanto, para os dados dos impactos serem coerentes com os custos, é necessário estimar os impactos para a produção de um metro quadrado de membrana. Na Tabela 52, pode-se observar a passagem dos valores de produção de um quilograma de membrana para a produção de um metro quadrado de membrana.

**Tabela 51 - Valores médios dos impactos ambientais para a produção de 1 kg de cada tipo de membrana**

|                              | Betuminosa | PVC   | TPO/FPO | EPDM   |
|------------------------------|------------|-------|---------|--------|
| PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | 0,64       | 3,38  | 2,08    | 5,48   |
| CRE-NR (MJ)                  | 29,69      | 78,00 | 55,33   | 111,31 |

**Tabela 52 - Valores dos impactos ambientais para a produção de um kg e de um metro quadrado de solução de impermeabilização**

| Tipo de solução de impermeabilização | Impactes por kg              |             | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Impactes por m <sup>2</sup>  |             |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|-------------|
|                                      | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |                           | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
| B1                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| B2                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| B3                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| B4                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| B5                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| B6                                   | 0,64                         | 29,69       | 7 (2 camadas)             | 4,47                         | 207,85      |
| PVC1                                 | 3,38                         | 78,00       | 2 (uma camada)            | 6,75                         | 156,00      |
| PVC2.1                               | 3,38                         | 78,00       | 1,95 (uma camada)         | 6,58                         | 152,10      |
| PVC2.2                               | 3,38                         | 78,00       | 1,95 (uma camada)         | 6,58                         | 152,10      |
| PVC3                                 | 3,38                         | 78,00       | 1,5 (uma camada)          | 5,06                         | 117,00      |
| TPO1.1                               | 2,08                         | 55,33       | 1,14 (uma camada)         | 2,38                         | 63,07       |
| TPO1.2                               | 2,08                         | 55,33       | 1,14 (uma camada)         | 2,38                         | 63,07       |
| TPO2                                 | 2,08                         | 55,33       | 1,43 (uma camada)         | 2,98                         | 79,12       |
| EPDM1.1                              | 5,48                         | 111,31      | 1,4 (uma camada)          | 7,68                         | 155,83      |
| EPDM1.2                              | 5,48                         | 111,31      | 1,4 (uma camada)          | 7,68                         | 155,83      |
| EPDM2                                | 5,48                         | 111,31      | 1,9 (uma camada)          | 10,42                        | 211,48      |

No entanto, para comparar os impactos das várias soluções, é necessário multiplicar os valores pelo número de aplicações que se realizarão: quatro para o caso de membranas betuminosas com proteção leve, e duas no caso de proteção pesada, quatro para membranas sintéticas de PVC sem proteção, e duas no caso de ter proteção pesada, três no caso de membranas de TPO/FPO e EPDM sem proteção, e duas no caso de terem proteção pesada. Na Tabela 53, pode-se observar esses valores, tendo em consideração que estes valores não são atualizados para o ano 0, como aconteceria com os custos.

**Tabela 53 - Valores de PAG e CRE-NR para um ciclo de vida de 50 anos**

| Tipo de solução de impermeabilização | Número de aplicações | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|
| B1                                   | 2                    | 8,94                         | 415,70      |
| B2                                   | 3                    | 13,40                        | 623,55      |
| B3                                   | 3                    | 13,40                        | 623,55      |
| B4                                   | 2                    | 8,94                         | 415,70      |
| B5                                   | 2                    | 8,94                         | 415,70      |
| B6                                   | 2                    | 8,94                         | 415,70      |
| PVC1                                 | 2                    | 13,50                        | 312,00      |
| PVC2.1                               | 2                    | 13,16                        | 304,20      |
| PVC2.2                               | 4                    | 26,33                        | 608,40      |
| PVC3                                 | 4                    | 20,25                        | 468,00      |
| TPO1.1                               | 3                    | 7,13                         | 189,21      |
| TPO1.2                               | 2                    | 4,75                         | 126,14      |
| TPO2                                 | 2                    | 5,96                         | 158,23      |
| EPDM1.1                              | 3                    | 23,04                        | 467,49      |
| EPDM1.2                              | 2                    | 15,36                        | 311,66      |
| EPDM2                                | 2                    | 20,84                        | 422,97      |

### 5.3. Avaliação do ciclo de vida ambiental e económico

Depois de obtidos todos os resultados necessários para efetuar a comparação do ciclo de vida ambiental e económico, foram definidas soluções de impermeabilização comparáveis. Assim sendo, optou-se por definir quatro grupos de soluções de impermeabilização, de acordo com a utilização pretendida:

- cobertura não acessível (ou de acesso limitado), tradicional;
- cobertura não acessível (ou de acesso limitado), invertida;

- cobertura acessível a pessoas, tradicional;
- cobertura acessível a pessoas, invertida.

Na solução para cobertura não acessível, do tipo tradicional, a camada de isolamento térmico situa-se por baixo da camada de impermeabilização. Sendo uma cobertura não acessível, não possui proteção externa, como se pode observar na Figura 28, exigindo-se que a membrana de impermeabilização possua autoproteção.

Na cobertura não acessível, do tipo invertida, os componentes são idênticos aos da cobertura tradicional mas estão colocados por ordem diferente. Neste tipo de coberturas, a camada de isolamento térmico situa-se por cima da camada de impermeabilização, como se pode observar na Figura 29, e é necessário colocar uma proteção externa para proteger o isolamento térmico.

A cobertura acessível, do tipo tradicional (Figura 30), exige uma proteção externa.

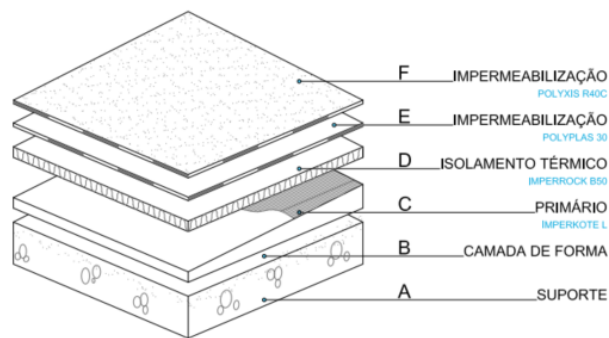


Figura 28 - Cobertura não acessível, tradicional (Imperialum, 2015)

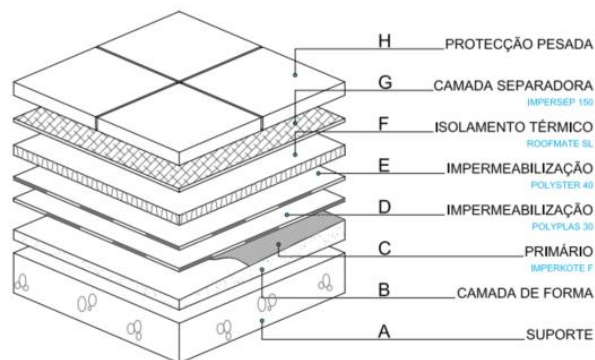
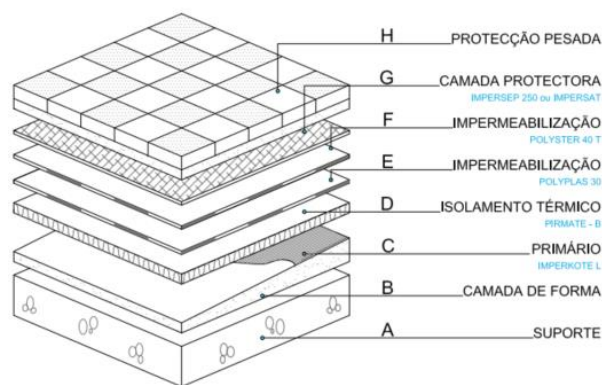


Figura 29 - Cobertura não acessível, invertida (Imperialum, 2015)

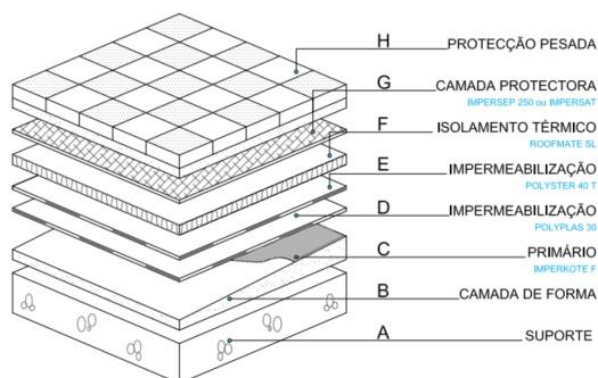




**Figura 30 - Cobertura acessível, tradicional (Imperialum, 2015)**

A cobertura acessível, do tipo invertida (Figura 31), uma vez que é acessível tal como o tipo de cobertura anterior, necessita de uma proteção externa.

Uma vez definidas as várias hipóteses de cobertura, é possível agrupar as soluções, de modo a comparar soluções, que podem ser comparadas.



**Figura 31 - Cobertura acessível, invertida (Imperialum, 2015)**

### 5.3.1. Cobertura não acessível, tradicional

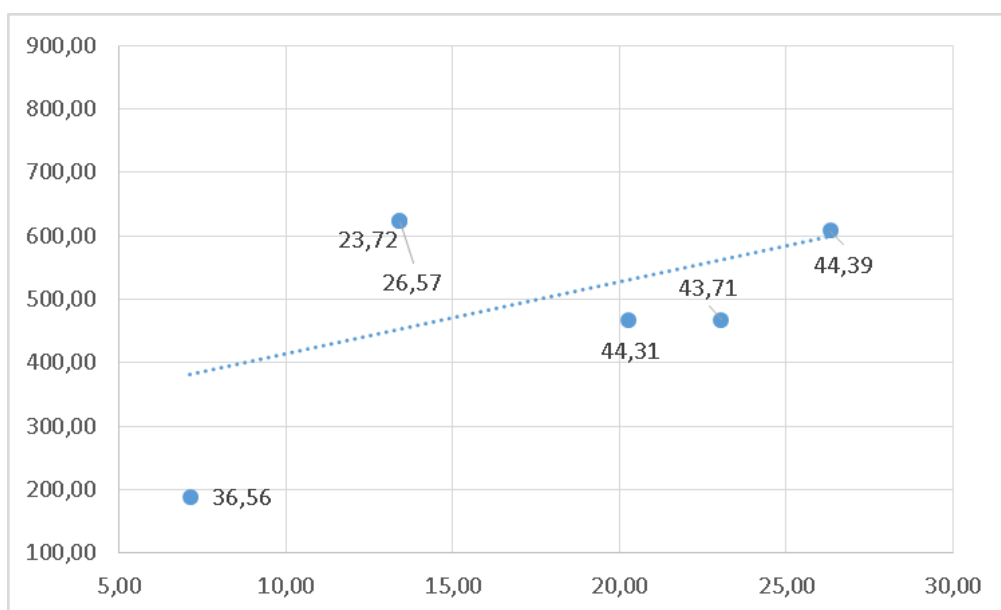
No caso de coberturas não acessíveis tradicionais, enquadram-se seis das membranas em estudo, de variados tipos. Na Tabela 54, pode-se observar o custo do ciclo de vida e os impactes ambientais PAG e CRE-NR para cada tipo de membrana a utilizar neste tipo de coberturas.

Na Tabela 54, pode-se observar uma grande diferença de custo do ciclo de vida e dos impactes ambientais entre as várias membranas. Numa primeira análise, pode-se observar que a membrana com menor custo é a membrana B3, enquanto a membrana com menor impacte ambiental é a TPO1.1, quer para PAG, quer para CRE-NR. Por sua vez, as membranas B2 e B3 apresentam os valores mais elevados para o impacte ambiental CRE-NR, enquanto no PAG se destaca a membrana PVC2.2 com maior impacte, sendo também a mais cara. Para permitir uma melhor interpretação dos resultados obtidos, criou-se a Figura 32.

**Tabela 54 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas de acesso limitado, do tipo tradicional**

| Tipo de membrana | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
|------------------|--|------------------------------|-------------|
| <b>B2</b>        | 26,57                                      | 13,40                        | 623,55      |
| <b>B3</b>        | 23,72                                      | 13,40                        | 623,55      |
| <b>PVC2.2</b>    | 44,39                                      | 26,33                        | 608,40      |
| <b>PVC3</b>      | 44,31                                      | 20,25                        | 468,00      |
| <b>TPO1.1</b>    | 36,56                                      | 7,13                         | 189,21      |
| <b>EPDM1.1</b>   | 43,71                                      | 23,04                        | 467,49      |

Na Figura 32, observa-se que os valores dos impactes ambientais seguem uma tendência linear. No entanto, o mesmo não se passa com os custos, que não apresentam uma relação direta com os valores dos impactes. No entanto, há duas membranas que se destacam: as B2 (26,57) e B3 (23,72), pois têm baixo custo, mas maior impacte em termos de CRE-NR. A membrana TPO1.1, apesar de não apresentar um custo tão baixo, apresenta o impacte ambiental mais baixo.



**Figura 32 - PAG (em abcissas, kg eq CO<sub>2</sub>) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>), para soluções de impermeabilização de coberturas com acesso limitado do tipo tradicional**

### 5.3.2. Cobertura não acessível, invertida

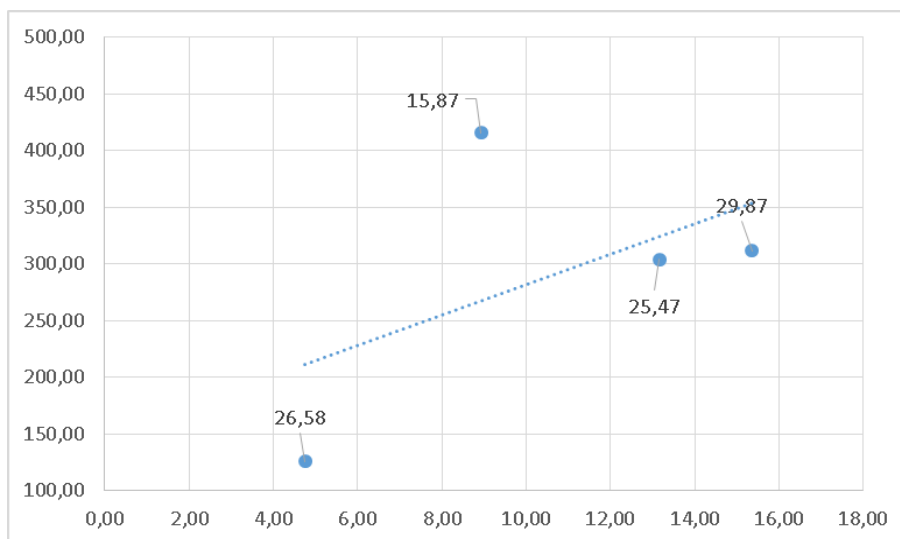
No caso das coberturas não acessíveis invertidas, apenas podem ser utilizadas quatro das membranas em estudo. Neste subcapítulo, encontram-se algumas membranas referidas no subcapítulo anterior, uma vez que podem ser utilizadas em coberturas tradicionais ou invertidas, desde que tenham acesso limitado. Na Tabela 55, pode-se observar o custo de aquisição e aplicação ao longo de 50 anos, bem como os impactes PAG e CRE-NR.

**Tabela 55 - Custos e impactos ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas de acesso limitado, do tipo invertido**

| Tipo de membrana | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
|------------------|--|------------------------------|-------------|
| B1               | 15,87                                      | 8,94                         | 415,70      |
| PVC2.1           | 25,47                                      | 13,16                        | 304,20      |
| TPO1.2           | 26,58                                      | 4,75                         | 126,14      |
| EPDM1.2          | 29,87                                      | 15,36                        | 311,66      |

Na Tabela 55, pode-se observar que os custos da impermeabilização destas coberturas, quando, comparados com o tipo de membrana utilizada em coberturas de acesso limitado, tradicional, são inferiores. Isto acontece porque, apesar de o custo inicial ser parecido, a durabilidade deste tipo de membranas é superior, necessitando de menos substituições ao longo da vida útil do edifício. Neste tipo de cobertura, a solução que apresenta menor custo total é a solução B1, enquanto a membrana TPO 1.2 apresenta os valores mais baixos para os impactos ambientais. A membrana EPDM1.2 apresenta os valores mais elevados quer para o impacto ambiental PAG, quer para o custo do ciclo de vida. Para facilitar a interpretação dos dados, criou-se a Figura 33.

Na Figura 33 pode-se observar que os valores dos impactos nas três dimensões analisadas seguem uma tendência linear. Há uma membrana que se destaca: TPO 1.2 (26,58) pois os impactos são mais baixos do que para as restantes.



**Figura 33 - PAG (em abcissas, kg eq CO<sub>2</sub>) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>), para soluções de impermeabilização de coberturas com acesso limitado do tipo invertido**

### 5.3.3. Cobertura acessível, tradicional

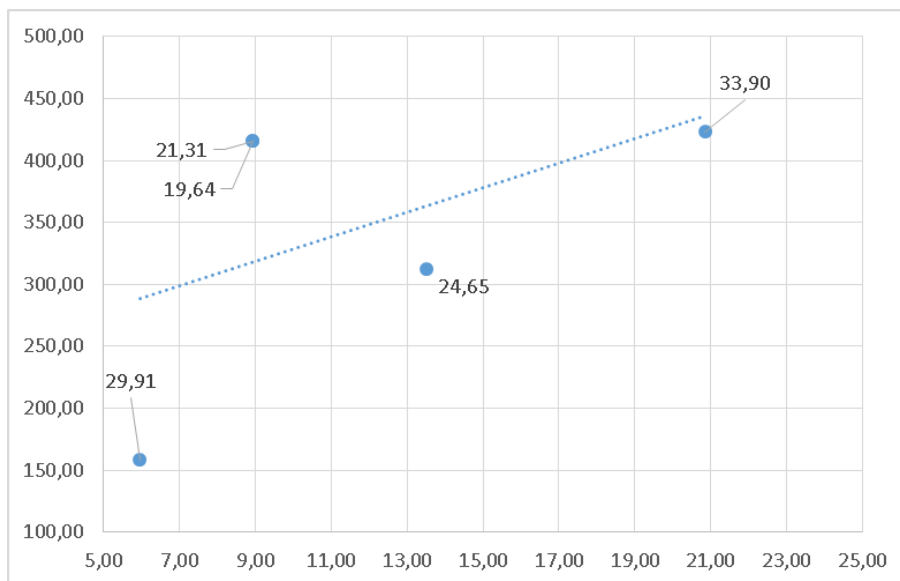
No que diz respeito às coberturas acessíveis tradicionais, foram encontrados cinco tipos de membrana, cujos dados podem ser observados na Tabela 56.

**Tabela 56 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas acessíveis a pessoas, do tipo tradicional**

| Tipo de membrana | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
|------------------|--|------------------------------|-------------|
| B5               | 19,64                                      | 8,94                         | 415,70      |
| B6               | 21,31                                      | 8,94                         | 415,70      |
| PVC1             | 24,65                                      | 13,50                        | 312,00      |
| TPO2             | 29,91                                      | 5,96                         | 158,23      |
| EPDM2            | 33,90                                      | 20,84                        | 422,97      |

Observa-se que a membrana EPDM2 tem um custo do ciclo de vida elevado, tal como a membrana TPO2. A membrana EPDM2, além de ter o custo mais elevado de entre as membranas em estudo, tem também o maior impacte ambiental. Neste tipo de cobertura, a membrana B5 apresenta os valores mais baixo para o custo total, enquanto a membrana TPO2 apresenta os valores mais baixos para as duas categorias de impacte ambiental. Na Figura 34, pode-se observar outra forma de apresentação destes resultados.

Pode-se observar que os valores apresentados seguem uma tendência linear. Para este tipo de coberturas, as membranas betuminosas apresentam os custos mais baixos, mas o valor do impacte ambiental PAG é elevado em relação à maioria. A membrana TPO2 (29,91), apesar de não ser muito económica, apresenta impacte ambiental bastante inferior ao das restantes membranas. Há ainda uma membrana que se destaca: EPDM2 (33,90) pois, além de ter o custo mais elevado, apresenta também os valores mais elevados dos impactes ambientais das membranas em análise.



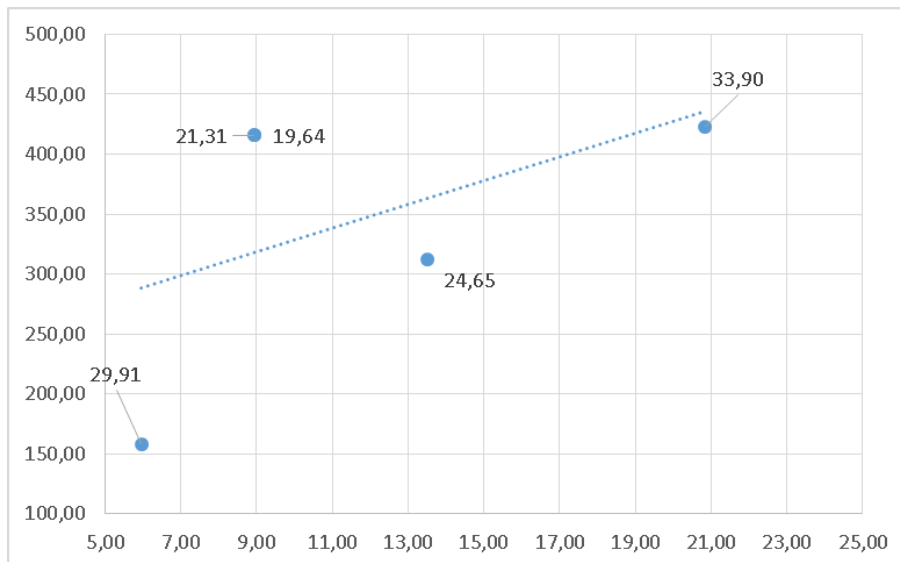
**Figura 34 - PAG (em abcissas, kg eq CO<sub>2</sub>) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>), para soluções de impermeabilização de coberturas acessíveis a pessoas, do tipo tradicional**

### 5.3.4. Cobertura acessível, invertida

No caso de coberturas acessíveis invertidas, foram estudadas cinco soluções de impermeabilização, cujos dados podem ser observados na Tabela 57. Neste caso, as membranas betuminosas apresentam os valores de custo (B4) mais baixos. A membrana TPO2 apresenta os valores mais baixos de impacte ambiental. Por sua vez, a membrana EPDM2 apresenta os valores mais elevados para o custo e para os impactes ambientais. Na Figura 35, pode-se observar-se os mesmos dados, apresentados de forma gráfica.

**Tabela 57 - Custos e impactes ambientais do ciclo de vida das soluções de impermeabilização a utilizar em coberturas acessíveis a pessoas, do tipo invertida**

| Tipo de membrana | Custo do ciclo de vida (€/m <sup>2</sup> ) | PAG (kg eq CO <sub>2</sub> ) | CRE-NR (MJ) |
|------------------|--|------------------------------|-------------|
| <b>B4</b>        | 19,64                                      | 8,94                         | 415,70      |
| <b>B6</b>        | 21,31                                      | 8,94                         | 415,70      |
| <b>PVC1</b>      | 24,65                                      | 13,50                        | 312,00      |
| <b>TPO2</b>      | 29,91                                      | 5,96                         | 158,23      |
| <b>EPDM2</b>     | 33,90                                      | 20,84                        | 422,97      |



**Figura 35 - PAG (em abscissas, kg eq CO<sub>2</sub>) e CRE-NR (em ordenadas, MJ), em que cada ponto representa os custos do ciclo de vida (€/m<sup>2</sup>), para soluções de impermeabilização de coberturas acessíveis a pessoas, do tipo invertido**

Os dados apresentados seguem uma tendência linear, com a membrana B4 (19,64) a apresentar o valor mais baixo para o custo. A membrana EPDM2 apresenta os valores mais elevados nas três dimensões de impacto analisadas.

#### **5.4. Caso de estudo - seleção das soluções mais adequadas na reabilitação de infraestruturas militares**

No caso de estudo, optou-se pela seleção das soluções mais adequadas na reabilitação de infraestruturas militares em vez da análise de soluções para construção nova, pois tendo em conta o contexto atual do nosso país, as intervenções de reabilitação são mais frequentes do que a construção nova. Assim, definiu-se que o projeto de reabilitação será a principal área de aplicação dos resultados apresentados, mas a análise e os resultados seriam idênticos se o foco fosse a construção nova.

Na reabilitação da cobertura de um edifício, existem várias opções disponíveis e cabe ao projetista escolher a que mais se adequa às suas necessidades e exigências. Depois de analisar o subcapítulo 5.3, o projetista pode escolher a solução de impermeabilização a utilizar para cada tipologia de cobertura, baseando-se em três parâmetros do ciclo de vida: custo e impactos ambientais, PAG e CRE-NR. Estes três parâmetros têm diferente importância consoante a pessoa que toma a decisão:

- se se pretende minimizar o custo, o parâmetro com mais importância é o custo do ciclo de vida;
- se se pretende minimizar a pegada de carbono, o parâmetro com mais importância é o PAG;
- se se pretende minimizar a energia incorporada, o parâmetro mais importante é o CRE-NR.

A melhor solução seria a que minimizasse o custo, a pegada de carbono e a energia incorporada. No entanto, como tal pode não acontecer para as quatro tipologias de cobertura em estudo, é necessário fazer uma análise multicritério para permitir escolher a melhor solução em cada caso.

Nesta análise, começou-se por dividir os valores de cada parâmetro, pelo valor máximo desse parâmetro. Repetiu-se o processo para todos os parâmetros, para os tornar adimensionais e comparáveis. De seguida optou-se por atribuir importância a cada parâmetro. As percentagens atribuídas a cada parâmetro não têm bases científicas, sendo tão “válidas como quaisquer outras”. Com base na prática corrente de projeto em Portugal, optou-se por dar mais importância ao custo do ciclo de vida, pois normalmente é o único fator considerado em projeto, e dar a mesma importância aos impactes ambientais (energia incorporada e pegada de carbono), que geralmente não são considerados pelo projetista: 70% para o custo total, 15 % para o PAG e 15 % para o CRE-NR. É importante frisar que a atribuição destas percentagens teve apenas em atenção o senso comum, não tem qualquer validade científica. Os 70% do custo total devem-se ao facto de ser o fator decisivo no momento da escolha. No entanto, como se pretende atribuir alguma importância aos impactes ambientais no momento da decisão, optou-se por dividir os restantes 30% entre os dois impactes considerados.

Somando o valor dos vários parâmetros para cada categoria multiplicados pelos respectivos pesos, obtém-se um indicador único que contém informação relativa aos três parâmetros. Quanto mais este valor se aproximar da unidade, pior será a solução (comparativamente com as restantes em estudo), pois mais elevado impacte tem no ciclo de vida em termos de custo, PAG e CRE-NR. Na Tabela 58, pode-se observar o valor obtido na análise multicritério para cada tipo de solução de impermeabilização.

Este tipo de análise permite hierarquizar as soluções de impermeabilização considerando todos os parâmetros em comparação. No entanto, os valores apresentados não têm muito significado em termos comparativos porque as soluções de impermeabilização têm diferentes utilizações. Para tomar a decisão é necessário dividir todas estas soluções pelos diferentes tipos de cobertura.

#### **5.4.1. Cobertura não acessível, tradicional**

A decisão da membrana de impermeabilização a utilizar neste tipo de coberturas deve começar com a análise do subcapítulo 5.3.1. No entanto, essa análise não é conclusiva, uma vez que não existe uma membrana que minimize ou maximize os três parâmetros. Assim, optou-se por utilizar a análise multicritério para auxiliar na decisão. Na Tabela 59, pode-se observar os valores obtidos na análise multicritério.

**Tabela 58 - Análise multicritério para cada tipo de solução de impermeabilização**

| <b>Tipo de solução de impermeabilização</b> | <b>Custo do ciclo de vida</b> | <b>PAG</b> | <b>CRE-NR</b> | <b>Valor obtido na análise multicritério</b> |
|---|-------------------------------|------------|---------------|--|
| B1  | 0,36                          | 0,34       | 0,50          | 0,38   |
| B2  | 0,60                          | 0,51       | 1,00          | 0,65   |
| B3  | 0,53                          | 0,51       | 1,00          | 0,60   |
| B4  | 0,44                          | 0,34       | 0,50          | 0,44   |
| B5  | 0,44                          | 0,34       | 0,50          | 0,44   |
| B6  | 0,48                          | 0,34       | 0,50          | 0,46   |
| PVC1  | 0,56                          | 0,51       | 0,38          | 0,52   |
| PVC2.1                                      | 0,57                          | 0,50       | 0,37          | 0,53   |
| PVC2.2                                      | 1,00                          | 1,00       | 0,73          | 0,96   |
| PVC3  | 1,00                          | 0,77       | 0,56          | 0,90   |
| TPO1.1                                      | 0,82                          | 0,27       | 0,23          | 0,65   |
| TPO1.2                                      | 0,60                          | 0,18       | 0,15          | 0,47   |
| TPO2  | 0,67                          | 0,23       | 0,19          | 0,53   |
| EPDM1.1                                     | 0,98                          | 0,88       | 0,56          | 0,90   |
| EPDM1.2                                     | 0,67                          | 0,58       | 0,37          | 0,61   |
| EPDM2                                       | 0,76                          | 0,79       | 0,51          | 0,73   |

**Tabela 59 - Análise multicritério para cobertura não acessível, tradicional**

| <b>Tipo de membrana</b> | <b>Custo do ciclo de vida</b> | <b>PAG</b> | <b>CRE-NR</b> | <b>Valor obtido na análise multicritério</b> |
|-------------------------|-------------------------------|------------|---------------|--|
| <b>B2</b>               | 0,60                          | 0,51       | 1,00          | 0,65   |
| <b>B3</b>               | 0,53                          | 0,51       | 1,00          | 0,60   |
| <b>PVC2.2</b>           | 1,00                          | 1,00       | 0,73          | 0,96   |
| <b>PVC3</b>             | 1,00                          | 0,77       | 0,56          | 0,90   |
| <b>TPO1.1</b>           | 0,82                          | 0,27       | 0,23          | 0,65   |
| <b>EPDM1.1</b>          | 0,98                          | 0,88       | 0,56          | 0,90   |

Do subcapítulo 5.3.1., sabe-se que a membrana B3 minimiza os custos e a TPO1.1 minimiza os impactos ambientais. Atribuindo os pesos a cada parâmetro, chega-se à conclusão que a melhor solução para este tipo de coberturas seria a membrana B3 pois tem o menor valor da análise multicritério. Apesar de a membrana de TPO1 minimizar dois parâmetros, a percentagem atribuída a estes é bastante mais baixa do que a atribuída aos custos, impedindo-



a de ser a melhor solução. A membrana PVC2.2, além de quase maximizar ambos os impactos ambientais, tem o custo mais elevado, tornando-a na pior opção.

A solução de impermeabilização a utilizar neste tipo de coberturas tem a seguinte ordenação, da melhor para a pior: B3, TPO1.1/B2, PVC3/EPDM1.1 e PVC2.2.

#### 5.4.2. Cobertura não acessível, invertida

A partir da análise do subcapítulo 5.3.2., conclui-se que não há uma membrana que minimize os três parâmetros. No entanto, as membranas PVC 2.1 e EPDM1.2 apresentam os impactos mais elevados considerando os três parâmetros, surgindo como as piores opções. Sabe-se ainda que a membrana de B1 minimiza os custos, e a membrana TPO1.2 minimiza os impactos ambientais. Assim, recorre-se à análise multicritério (Tabela 60) para auxiliar a decisão.

**Tabela 60 - Análise multicritério para cobertura não acessível, invertido**

| <b>Tipo de membrana</b> | <b>Custo do ciclo de vida</b> | <b>PAG</b> | <b>CRE-NR</b> | <b>Valor obtido na análise multicritério</b> |
|-------------------------|-------------------------------|------------|---------------|--|
| <b>B1</b>               | 0,36                          | 0,34       | 0,50          | 0,38   |
| <b>PVC2.1</b>           | 0,57                          | 1,00       | 0,73          | 0,66   |
| <b>TPO1.2</b>           | 0,60                          | 0,27       | 0,23          | 0,49   |
| <b>EPDM1.2</b>          | 0,67                          | 0,79       | 0,51          | 0,67   |

Através da análise multicritério, conclui-se que a melhor solução a utilizar neste tipo de coberturas é a membrana B1, uma vez que, apesar de os impactos ambientais serem elevados, o custo é bastante inferior ao das restantes soluções. Apesar de a membrana TPO1.2 apresentar os valores mais baixos para os impactos ambientais, o seu custo é ainda bastante elevado.

A solução de impermeabilização a utilizar neste tipo de coberturas tem a seguinte ordenação, da melhor para a pior: B1, TPO1.2, PVC2.1, EPDM1.2.

#### 5.4.3. Cobertura acessível, tradicional

Após a análise do subcapítulo 5.3.3., conclui-se que não há membranas que minimizem todos os parâmetros. No entanto, sabe-se que a membrana EPDM2 apresenta os valores mais elevados para os parâmetros em estudo. A membrana B5 minimiza os custos, e a TPO2 minimiza os impactos ambientais. Portanto, optou-se por aplicar a análise multicritério, como se pode observar na Tabela 61.

Pode-se observar que a membrana EPDM2 se apresenta como a pior solução neste tipo de coberturas. A membrana B1, apesar de ter impactos ambientais significativos, apresenta-se como a melhor solução, devido ao seu baixo custo. A membrana TPO2, apesar de minimizar os impactos ambientais, apresenta custos elevados, não sendo por isso a melhor solução.

**Tabela 61 - Análise multicritério para cobertura acessível, tradicional**

| <b>Tipo de membrana</b> | <b>Custo do ciclo de vida</b> | <b>PAG</b> | <b>CRE-NR</b> | <b>Valor obtido na análise multicritério</b> |
|-------------------------|-------------------------------|------------|---------------|--|
| <b>B5</b>               | 0,44                          | 0,34       | 0,50          | 0,44   |
| <b>B6</b>               | 0,48                          | 0,34       | 0,50          | 0,46   |
| <b>PVC1</b>             | 0,56                          | 0,51       | 0,38          | 0,52   |
| <b>TPO2</b>             | 0,67                          | 0,23       | 0,19          | 0,53   |
| <b>EPDM2</b>            | 0,76                          | 0,88       | 0,56          | 0,75   |

A solução de impermeabilização a utilizar neste tipo de coberturas tem a seguinte ordenação, da melhor para a pior: B5, B6, PVC1, TPO2 e EPDM2.

#### **5.4.4. Cobertura acessível, invertida**

A partir da análise do subcapítulo 5.3.4., não é possível concluir qual a membrana que minimiza todos os parâmetros. Sabe-se apenas que a membrana B4 minimiza o custo e que a TPO2 minimiza os impactos. A membrana EPDM2 maximiza todos os parâmetros em comparação, tornando-se na pior opção neste tipo de coberturas. Para auxiliar a decisão, fez-se uma análise multicritério, que se pode observar na Tabela 62.

**Tabela 62 - Análise multicritério para cobertura acessível, invertido**

| <b>Tipo de membrana</b> | <b>Custo do ciclo de vida</b> | <b>PAG</b> | <b>CRE-NR</b> | <b>Valor obtido na análise multicritério</b> |
|-------------------------|-------------------------------|------------|---------------|--|
| <b>B4</b>               | 0,44                          | 0,34       | 0,50          | 0,44   |
| <b>B6</b>               | 0,48                          | 0,34       | 0,50          | 0,46   |
| <b>PVC1</b>             | 0,56                          | 0,51       | 0,38          | 0,52   |
| <b>TPO2</b>             | 0,67                          | 0,23       | 0,19          | 0,53   |
| <b>EPDM2</b>            | 0,76                          | 0,88       | 0,56          | 0,75   |

É possível concluir que a melhor solução a adotar neste tipo de coberturas é a membrana B4, pois apresenta o menor valor obtido na análise multicritério. A membrana TPO2, apesar de minimizar os impactos ambientais, não se torna a melhor opção devido ao seu elevado custo. A membrana EPDM2 apresenta-se como a pior opção, pois maximiza todos os parâmetros.

A solução de impermeabilização a utilizar neste tipo de coberturas tem a seguinte ordenação, da melhor para a pior: B4, B6, PVC1, TPO2 e EPDM2.

## 6. Conclusões

### 6.1. Conclusões gerais

Ao longo deste trabalho, pretendeu-se comparar o ciclo de vida ambiental e económico das soluções de impermeabilização mais utilizadas atualmente. O resultado pretendido é um quadro comparativo das várias soluções em termos de custo do ciclo de vida e de impactes ambientais.

Decidiu-se estudar as seguintes soluções de impermeabilização: membranas betuminosas - APP e SBS, membranas sintéticas - PVC, TPO, HPDE e EPDM, membranas líquidas - betuminosas, acrílicas, epóxicas e poliuretano, e membranas cimentícias - monocomponente e bicomponente. No entanto, no decorrer da pesquisa de dados de impactes ambientais, não foi possível encontrar informação relativa a todos os tipos de material.

Na fase de pesquisa de dados, surgiram outras limitações. Além de não ser possível comparar todas as soluções de impermeabilização definidas inicialmente por não haver dados disponíveis, foi necessário juntar alguns tipos de membrana semelhantes, pois as Declarações Ambientais de Produto (DAP) não faziam distinção. Assim sendo, as membranas betuminosas que estavam separadas em APP e SBS passaram a ser membranas betuminosas modificadas (com APP ou SBS), e as membranas sintéticas de TPO passaram a incorporar também as membranas sintéticas de FPO. A partir deste ponto, passou-se a analisar apenas as seguintes membranas: membranas betuminosas modificadas (com APP ou SBS) e membranas sintéticas de PVC, TPO/FPO e EPDM.

Para a comparação do desempenho ambiental entre membranas, considerou-se as seguintes categorias de impacto ambiental: potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização, potencial de depleção abiótica, potencial de criação de ozono fotoquímico, potencial de destruição da camada de ozono, e consumo de recursos energéticos renováveis e não renováveis. Decidiu-se usar como comparação apenas as três categorias com maior relevância ambiental: potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e potencial de depleção abiótica. No entanto, chegou-se à conclusão de que, em vez do potencial de depleção abiótica, se deveria utilizar a categoria consumo de recursos energéticos não renováveis, uma vez que existe em todas as DAP, ao contrário do potencial de depleção abiótica.

Para analisar o desempenho ambiental das várias soluções de impermeabilização, utilizou-se a metodologia NativeLCA para seleccionar os dados de ACV coerentes para serem utilizados como genéricos em contexto nacional. Entre cada tipo de membranas, comparou-se os valores das três categorias de impacto ambiental definidas e verificou-se a coerência dos valores obtidos a partir de cada fonte de dados.

No caso das membranas betuminosas modificadas, foram eliminados dois conjuntos de dados por terem proteção em alumínio e foi escolhido o Valor Médio (VaMe) Europeu para a produção de um quilograma de membrana betuminosa sem embalagem. Apenas foi calculado o VaMe para a produção de membranas sem embalagem, porque apenas uma das membranas continha informação relativa à embalagem.

Nas membranas sintéticas de PVC, não foi necessário excluir nenhuma DAP, uma vez que os dados eram coerentes. Para este tipo de membranas, foi escolhido o VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana de PVC, com e sem embalagem, uma vez

que algumas DAP continham informação apenas da membrana e outras incluíam informação relativa aos impactes ambientais das embalagens.

No caso das membranas sintéticas de TPO/FPO, todas as DAP foram consideradas válidas, tendo sido escolhido o VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana de TPO/FPO com e sem embalagem.

Nas membranas sintéticas de EPDM, não foi necessário excluir nenhuma membrana. Foi escolhido o VaMe Europeu para a produção de um quilograma de membrana com embalagem.

Para a avaliação económica das soluções de impermeabilização, recolheu-se os custos de aquisição e aplicação dos vários tipos de membrana. Foi necessário definir a durabilidade de cada tipo de membrana e comparar os custos ao longo do ciclo de vida do edifício (50 anos).

Para fazer a avaliação do ciclo de vida económico e ambiental das várias soluções de impermeabilização de coberturas planas, optou-se por utilizar apenas as duas categorias de impacte ambiental mais importantes: potencial de aquecimento global e consumo de recursos energéticos não renováveis. Para a comparação fazer sentido, optou-se por dividir as membranas consoante a sua utilização: coberturas não acessíveis tradicionais, coberturas não acessíveis invertidas, coberturas acessíveis tradicionais e coberturas acessíveis invertidas. Para cada tipologia de cobertura, comparou-se as soluções de impermeabilização relativamente aos impactes ambientais e aos custos de aquisição e aplicação, ao longo de 50 anos. Para alguns tipos de cobertura, encontraram-se soluções que maximizassem os três parâmetros em comparação, mas não foi possível encontrar uma solução que minimizasse simultaneamente as três categorias, pelo que ou se minimizavam os impactes ambientais ou os custos.

No caso de estudo, optou-se por selecionar as soluções de impermeabilização mais adequadas para obras de reabilitação de infraestruturas militares, pois ocorrem atualmente em maior número do que as obras novas. Para cada tipo de cobertura, utilizou-se uma análise multicritério para permitir hierarquizar as soluções de impermeabilização, da melhor para a pior. Comparando o consumo de recursos energéticos não renováveis, o potencial de aquecimento global e os custos do ciclo de vida, conclui-se que, para todos os tipos de cobertura em estudo, as membranas betuminosas são a melhor opção, e as membranas sintéticas de EPDM são as que apresentam valores mais elevados.

## **6.2. Perspetivas de desenvolvimento futuro**

Esta dissertação foca apenas as vertentes ambiental e económica das soluções de impermeabilização de coberturas planas, existindo aspetos que podem ser estudados ou aprofundados:

- substituir dados muito antigos, como por exemplo os dados da Ecoinvent (1995), por outros mais recentes;
- estudar outras soluções de impermeabilização;
- fazer a avaliação ambiental, contemplando todas as categorias de impacte ambiental, em vez de restrita às três mais significativas;
- recolher custos das membranas de mais produtores;
- análise de sensibilidade à vida útil de cada membrana;

- análise de sensibilidade da taxa de atualização considerada no VAL;
- análise de sensibilidade dos pesos utilizados na análise multicritério.

## Referências bibliográficas

ALIBABA - *China building material SBS elastomer modified waterproof rubber membrane*, [http://www.alibaba.com/product-detail/china-building-material-SBS-elastomer-modified\\_615379183.html](http://www.alibaba.com/product-detail/china-building-material-SBS-elastomer-modified_615379183.html), consultado em julho de 2015.

ALVES, J. - *Impermeabilização e isolamento térmico de coberturas em terraço, sistemas construtivos e patologias*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

ANTÓNIO, D. - *Reabilitação de revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço – Estudo experimental da ligação entre membranas novas e envelhecidas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011.

ANTUNES, P., SANTOS, R., MARTINHO, S., LOBO, G. - *Estudo sobre sector elétrico e ambiente*, Entidade reguladora dos serviços energéticos, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2003.

ARCHIPRODUCTS, *Membrana pré-fabricada betuminosa*, <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/53975/impermeabilizzazioni-industriali-membrana-pre-fabricada-betuminosa-membrana-pre-fabricada-betuminosa-gba-plastik.html>, 2011, consultado em novembro de 2014.

ARCHIPRODUCTS - *Sistema Copernico - copelastico ultra*, <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/67444/produto-de-impermeabilizacao-a-base-de-cimento-sistema-copernico-copelastico-ultra-copernico-innovative-solutions.html>, 2013, consultado em novembro de 2014.

ARROJA, L., QUINTEIRO, P., DIAS, A. - *The past, present and future of life cycle assessment - The life cycle sustainability assessment*, Sustentabilidade na reabilitação urbana: o novo paradigma do Mercado da construção, iiSBE Portugal, Portugal, 2009, ISBN 978-0-273-75580-7.

ASPHALT, M. - *Advantages & disadvantages of pitched & flat roofing*, 2013, <http://www.morganasphalte.co.uk/news/advantages-disadvantages-pitched-flat-roofing/>, consultado em novembro de 2014.

BARRETO, L., BARROS, F., BONOMO, P., ROCHA, F., AMORIM, J. - *Eutrofização em rios brasileiros*, In Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer, v. 9, nº16, pp. 2179, Portugal, 2013.

CAPETILO, A., PINTO, A., AUGUSTO, C. - *A “Declaração ambiental de produto” como factor de sustentabilidade na construção*, In Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'10, pp. 613-623, Portugal, 2010, ISBN 978-989-95978-1-5.

CLICKINDIA - *APP membrane waterproofing, Shalimar tarfelt waterproofing*, <http://www.clickindia.com/detail.php?id=11553697>, consultado em julho de 2015.

CICERONE, R., NURSE, P. - *Climate change - Evidences and causes: an overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences*, The Royal Society, 2014.

COELHO, A., RAMOS, C. - *Aplicações da análise do ciclo de vida na avaliação ambiental dos produtos: esquemas de reconhecimento existentes*, In Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'10, pp. 11-21, Portugal, 2010, ISBN 978-989-95978-1-5.

CONSTRUIRONLINE - *Isolamento térmico e a impermeabilização de coberturas planas*,

<http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=468>, consultado em Fevereiro de 2015.

DIAS, T. - *Durabilidade de materiais utilizados nos sistemas de impermeabilização de coberturas planas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - especialização em construção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

DOMBROWSKI, U. - *Effects of climate change on factory life cycle*, Procedia CIRP, n.º 15, pp. 337-342, 2014.

EUROFENIX - *Impermeabilização de coberturas com membrana sintética*, <http://www.eurofenix.org/trabalhos.php?gal=6#1>, 2012, consultado em novembro de 2014.

FEITEIRA, J. - *Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço com base em produtos líquidos e pastosos - Caracterização experimental do comportamento mecânico dos sistemas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

FERNANDES, J. - *Estudo de viabilidade económico-financeira de uma Academia de Ténis na Figueira da Foz*, Dissertação de Mestrado em Gestão do Desporto, Faculdade de Motricidade Humana, Lisboa, 2013.

FERREIRA, J. - *Análise de ciclo de vida dos produtos*, Gestão Ambiental, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2004.

FERREIRA, V., DIAS, B., ALMEIDA, M. - *DAPHabitat - o Sistema nacional de registo de declarações ambientais de produtos para o habitat*, In Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'12, pp. 721-727, Portugal, 2012, ISBN 978-989-95978-2-2.

FILLETI, R., SILVA, D., SILVA, E., OMETTO, A. - *Dynamic system for life cycle inventory and impact assessment of manufacturing processes*, Procedia CIRP, n.º 15, pp. 531-536, 2014.

GINGA, D. - *Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço – materiais, sistemas e anomalias*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

GONÇALVES, M., LOPES, J., BRITO, J., LOPES, M. – *Características das membranas de impermeabilizações de coberturas em terraço*, Engenharia Civil, UM, n.º22, 2005.

HOWARTH, R., SANTORO, R., INGRAFFEA, A. – *Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations*, In Climatic Change, 2011.

INTROPOL - *Membrana de poliuretano impermeabilización*, <http://www.intropol.es/es/membrana-de-poliuretano-impermeabilizacion>, 2012, consultado em novembro de 2014.

ISO 15686-5, 2008, *Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 5: life-cycle costing*.

ISOCOR, *Isolamento térmico e acústico - Coberturas de acessibilidade ilimitada*, <http://www.isocor.pt/catalogo/isolamento-de-coberturas-planas/>, 2011, consultado em novembro de 2014.

Johns Manville - *JM EPDM Installations Guide*, [http://www.jm.com/content/dam/jm/global/en/commercial-roofing/Installation-Application\\_Guides/RS-3080\\_EDPM-App-Guide.pdf](http://www.jm.com/content/dam/jm/global/en/commercial-roofing/Installation-Application_Guides/RS-3080_EDPM-App-Guide.pdf), consultado em agosto de 2015.

Kenyon Roofing - Flat roofing - Energy savings - TPO and rubber flat,

<http://www.kenyonroofing.com/Gallery.html>, consultado em agosto de 2015.

KOSTER - *Installation, Instructions*, KOSTER TPO, [http://www.koster.pt/files/de\\_en/KOESTER-TPO-Membranes-Installation-Instructions.pdf](http://www.koster.pt/files/de_en/KOESTER-TPO-Membranes-Installation-Instructions.pdf), consultado em agosto de 2015.

LAGES, A. - *Coberturas de edifícios - aplicação de um sistema pericial na avaliação do custo e qualidade*, Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1994.

LAVELLE, M. - *Methane - Good gas, bad gas*, 2012, <http://ngm.nationalgeographic.com/2012/12/methane/lavelle-text>, consultado em maio de 2015.

LOPES, J. - *Revestimentos de impermeabilizações de coberturas em terraço*, 1ª Edição, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 1994, ISBN 972-49-1618-9.

LSR COMMERCIAL - EPDM, <http://lsr-commercial.com/services/roof-restoration/roof-installation/epdm/>, consultado em julho de 2015.

MARQUES, S. - *Energias fósseis versus energias renováveis: proposta de intervenção de educação ambiental no 1º ciclo do ensino básico*, Dissertação de Mestrado em Estudos da Criança - Promoção da Saúde e do Meio Ambiental, Universidade do Minho, Braga, 2007.

MATEUS, R., BRAGANÇA, L. - *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*, 1ª Edição, Edições Ecopy, Ermesinde, Portugal, 2006, ISBN 978-989-95194-1-1.

NP EN 15643-2, 2013, *Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação da sustentabilidade dos edifícios - Parte 2: Enquadramento para a avaliação do desempenho ambiental*. Instituto Português da Qualidade. Caparica, Portugal.

NP EN ISO 14040, 2007, *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e enquadramento*. Instituto Português da Qualidade. Caparica, Portugal.

OLIVEIRA, N. - *Teoria e prática de técnicas de construção e conservação de coberturas do séc. XVIII: evolução histórica, tratadística do séc. XVIII, diagnóstico de anomalias e restauro estrutural*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2009.

PERDIGÃO, R. - *Impermeabilização de construções - Soluções tecnológicas e critérios de selecção*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

POMBO, J. - *Sistemas de Impermeabilização em Edifícios - Revestimento de coberturas em terraço*, Imperialum, 2014.

RAPOSO, S. - *Coberturas planas de edifícios - formulação exigencial, classificação e elementos constituintes*, Construlink Press, Oeiras, Portugal, 2003.

RAPOSO, T. - *Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil de revestimentos de coberturas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções Civis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

SANTOS, L., TENÓRIO, J. - Life cycle assessment and life cycle cost of sugar plants evaporators, In Revista Escola de Minas, vol. 63, n.º1, pp. 179-184, 2010.

SIKA - *O mundo do roofing - Tecnologia e conceitos*, Sika Portugal, Produtos de construção e indústria S.A., 2008.



SILVESTRE, J. - *Life cycle assessment "from cradle to cradle" of building assemblies - application to external walls*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.

SILVESTRE, J., BRITO, J., PINHEIRO, M. - *Certificação ambiental de materiais e soluções construtivas - Aplicação à realidade portuguesa*. In Congresso de Inovação na Construção sustentável - CINCOS' 10, Portugal Plataforma para a Construção Sustentável, pp. 97-111, 2010.

SILVESTRE, J., LASVAUX, S., HODKOVÁ, J., BRITO, J., PINHEIRO, M. - *NativeLCA - A systematic approach for the selection of environmental datasets as generic data: application to construction products in a national context*, In The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 20, n.º 6, pp. 731-750, 2015.

SMITH, V., SCHINDLER, D. - *Eutrophication science: where do we go from here?*, In Trends in Ecology and Evolution - Cell Press, vol. 24, n.º 4, pp. 201-207, 2009.

SOTECNISOL - *Condições técnicas especiais - Sistemas de impermeabilização com membranas betuminosas*, 2012.

REIDY, R., DAVIS, M., COONY, R., GOULD, S., MANN, C., SEWAK, B. - *Guidelines for life cycle cost analysis*, Land and Buildings, Stanford University, Stanford, Estados Unidos, 2005.

TEXSA - Produtos - FLAGON SFb, [http://www.texsa.pt/pt/pl39/productos/id32/flagon-sfb.htm?cat\\_39=22](http://www.texsa.pt/pt/pl39/productos/id32/flagon-sfb.htm?cat_39=22), consultado em julho de 2015.

TIRONE, L., e NUNES, K. - *Coberturas eficientes*, ADENE, Sintra, Portugal, 2011, ISBN 978-972-8646-22-6.

WALTER, A., BRITO, J., LOPES, G. - *Current flat roof bituminous membranes waterproofing systems - Inspection, Diagnosis and pathology classification*. In Construction and Building Materials, vol. 19, n.º 3, pp. 233-242, 2005.