

# **ESTUDO COMPARATIVO DE OPÇÕES CONSTRUTIVAS COM BASE EM PRESSUPOSTOS DE SUSTENTABILIDADE**

**Maria Laura de Abreu Rivani**

Relatório Final da Dissertação apresentado à  
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia da Construção**

No âmbito da dupla diplomação com a  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**

Trabalho realizado sob orientação de  
**Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira  
Doutor Rodrigo Scoczynski Ribeiro**

**Bragança, 2023.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer é uma das maiores virtudes da vida e aqui eu quero deixar registrado a minha profunda gratidão por todas as pessoas que estiveram ao meu lado nessa caminhada.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava, e ao Instituto Politécnico de Bragança, por proporcionarem a oportunidade de me formar mestre internacional pelo acordo de dupla diplomação. Tenho orgulho em fazer parte destas instituições. Aos meus professores orientadores, Prof. Dr. Rui Oliveira e Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro, por toda paciência, disposição e incentivos no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos meus pais, minha mãe Lilian, que sempre me fortaleceu e nunca me deixou desistir dos meus sonhos, e ao meu pai Marcos, em memória, que foi meu maior incentivador e sempre me deu coragem, mesmo na sua força espiritual. À toda minha família e em especial a minha irmã Karina e meu irmão Guilherme, que nunca me deixaram esquecer da mulher forte que eu sou. Sem o amor deles nada disso seria possível.

Agradeço ao meu namorado Breendown, que não mediu esforços para me manter em pé nessa caminhada, através de todo seu amor, paciência e dedicação por mim. Sem o seu companheirismo nada disso seria possível.

Agradeço às minhas amigas, Amanda Decker, Amanda Schmidt, Fernanda Tieme e Fernanda Bona que sempre me apoiaram e dividiram comigo todas as preocupações. Às minhas amigas Lorena, Marcela, Maíra, Suellen e Victória que além de todo cuidado são as mulheres engenheiras que me inspiram. Mesmo do outro lado do oceano todas vocês sempre estiveram ao meu lado e sem esse carinho nada disso seria possível.

Agradeço às minhas amigas, Ana Júlia, Isabela e Rafaela que se tornaram a minha família em Portugal e me ajudaram a viver essa experiência de forma mais leve e divertida. Por fim, agradeço à Deus e à minha gatinha Filó, que foram meus maiores companheiros nos dias mais difíceis.

RIVANI, M. L. A. Estudo comparativo de opções construtivas com base em pressupostos de sustentabilidade. 2023. 181 f. Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2023.

## RESUMO

O desenvolvimento sustentável é uma abordagem fundamentada no equilíbrio entre três dimensões, denominadas ambiental, social e económica, visando a satisfação de necessidades, sem comprometer as das populações futuras. Aplicada na construção civil, a sustentabilidade tem por intuito assegurar que nos processos de execução, reabilitação e demolição sejam utilizadas estratégias que diminuam os impactos ambientais, promovam a viabilidade económica e proporcionem qualidade de vida para as gerações.

Perante essa permissa, o objetivo dessa dissertação é realizar uma análise comparativa entre soluções construtivas que sejam detentoras de pressupostos de maior sustentabilidade e que atendam aos requisitos de comportamento térmico. Os processos construtivos serão explorados e otimizados com o fim de encontrar soluções viáveis que promovam menor impacto ambiental, que atendam as reduções de energia e de água incorporada e que contribuam para a redução de emissões de GEE.

As opções construtivas selecionadas e alvo de estudo, fazem parte da envolvente exterior. Estas foram analisadas termicamente baseadas no coeficiente de transmissão térmica indicado para a zona climática de Bragança, norte de Portugal. Em seguida, as soluções foram estudadas a partir dos resultados coletados de diferentes categorias de impacto ambiental, tais como: GWP, ODP, AP, entre outros. Por último, foi realizado a análise económica das opções construtivas propostas.

O resultado desse estudo permite a sensibilização das análises sustentáveis, térmicas e económicas com base na Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC). Esta metodologia viabiliza a normalização dos resultados encontrados e nos permite verificar que as opções construtivas formadas por bloco térmico apresentam os resultados mais eficientes a nível global de sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Soluções Construtivas; Isolamento Térmico; Eficiência Energética; MARS-SC.

## ABSTRACT

Sustainable development is an approach grounded in balancing three dimensions: environmental, social, and economic, with the aim of meeting present needs without compromising those of future generations. In the context of construction, sustainability seeks to ensure that processes involving construction, rehabilitation, and demolition employ strategies that reduce environmental impacts, promote economic viability, and enhance quality of life for future generations.

In light of this premise, the objective of this dissertation is to conduct a comparative analysis of construction solutions that embody greater sustainability principles and meet thermal performance requirements. Construction processes will be explored and optimized to identify viable solutions that minimize environmental impact, achieve energy and embodied water reductions, and contribute to greenhouse gas emission reduction.

The selected construction options under study pertain to the exterior envelope. These have been thermally analyzed based on the thermal transmittance coefficient specified for the climatic zone of Bragança, northern Portugal. Subsequently, the solutions were assessed using collected results from various environmental impact categories such as GWP, ODP, AP, among others. Finally, an economic analysis of the proposed construction options was conducted.

The outcome of this study enables the awareness of sustainable, thermal, and economic analyses based on the Relative Sustainability Assessment Methodology for Constructive Solutions (MARS-SC). This methodology enables the normalization of the findings and allows us to verify that the constructive options formed by thermal blocks present the most efficient results at a global level of sustainability.

**Keywords:** Sustainability; Construction Solutions; Thermal Insulation; Energy Efficiency; MARS-SC.

# SUMÁRIO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Introdução .....  | 13 |
| 1.1     | Contexto.....   | 13 |
| 1.2     | Objetivos do trabalho .....                                   | 15 |
| 1.2.1   | Objetivo geral.....   | 15 |
| 1.2.2   | Objetivos específicos.....                                    | 15 |
| 1.3     | Estrutura do trabalho.....                                    | 16 |
| 2       | Revisão de literatura .....                                   | 17 |
| 2.1     | Sustentabilidade .....  | 17 |
| 2.1.1   | O princípio da sustentabilidade.....                          | 17 |
| 2.1.2   | Sustentabilidade na construção civil.....                     | 21 |
| 2.1.3   | Avaliação do ciclo de vida .....                              | 24 |
| 2.1.4   | Categorias de impacto ambiental .....                         | 28 |
| 2.1.4.1 | Potencial esgotamento de recursos abióticos (ADP) .....       | 28 |
| 2.1.4.2 | Potencial de aquecimento global (GWP) .....                   | 29 |
| 2.1.4.3 | Potencial de destruição da camada de ozônio (ODP).....        | 29 |
| 2.1.4.4 | Potencial de acidificação (AP).....                           | 29 |
| 2.1.4.5 | Potencial de criação de ozônio fotoquímico (POCP) .....       | 30 |
| 2.1.4.6 | Potencial de eutrofização (EP).....                           | 30 |
| 2.1.4.7 | Energia não-renovável incorporada (ENR) .....                 | 30 |
| 2.1.4.8 | Energia renovável incorporada (ER) .....                      | 31 |
| 2.1.4.9 | Interpretação do conteúdo das categorias de impacto ambiental | 31 |
| 2.2     | Eficiência energética .....                                   | 33 |
| 2.2.1   | Enquadramento .....   | 33 |
| 2.2.2   | Eficiência energética na construção civil .....               | 34 |
| 2.3     | Soluções de isolamento térmico .....                          | 36 |
| 2.3.1   | Enquadramento .....   | 36 |
| 2.3.2   | Sistemas construtivos com isolamento térmico .....            | 46 |
| 2.3.2.1 | Sistema de parede dupla .....                                 | 46 |
| 2.3.2.2 | Sistema ETICS com alvenaria simples .....                     | 48 |
| 2.3.2.3 | Sistema de alvenaria de bloco térmico .....                   | 49 |
| 2.3.3   | Materiais de isolamento térmico .....                         | 51 |
| 2.3.3.1 | Poliestireno expandido moldado (EPS).....                     | 52 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 2.3.3.2 | Lã de rocha .....  | 53  |
| 2.3.3.3 | Aglomerado de cortiça expandida (ICB) .....              | 54  |
| 2.3.3.4 | Argamassa térmica .....                                  | 56  |
| 2.4     | Metodologia MARS-SC .....                                | 57  |
| 3       | Metodologia de investigação.....                         | 59  |
| 3.1     | Contexto.....  | 59  |
| 3.2     | Estudo comparativo .....                                 | 62  |
| 3.2.1   | Objetos de estudo.....                                   | 62  |
| 3.2.1.1 | Solução A: sistema construtivo de parede dupla .....     | 64  |
| 3.2.1.2 | Solução B: sistema construtivo ETICS.....                | 67  |
| 3.2.1.3 | Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico.....   | 69  |
| 3.2.2   | Análise térmica .....                                    | 73  |
| 3.2.3   | Análise ambiental .....                                  | 74  |
| 3.2.4   | Análise económica.....                                   | 75  |
| 3.2.5   | Normalização dos resultados .....                        | 76  |
| 4       | Resultados e discussões.....                             | 78  |
| 4.1     | Análise térmica .....                                    | 78  |
| 4.1.1   | Solução A: sistema construtivo de parede dupla .....     | 80  |
| 4.1.2   | Solução B: sistema construtivo ETICS .....               | 86  |
| 4.1.3   | Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico .....  | 91  |
| 4.1.4   | Resumo .....   | 98  |
| 4.2     | Análise ambiental.....                                   | 99  |
| 4.2.1   | Solução A: sistema construtivo de parede dupla .....     | 100 |
| 4.2.2   | Solução B: sistema construtivo ETICS .....               | 106 |
| 4.2.3   | Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico .....  | 112 |
| 4.2.4   | Resumo .....   | 119 |
| 4.3     | Análise económica .....                                  | 120 |
| 4.4     | Normalização dos resultados.....                         | 123 |
| 4.4.1   | Análise de desempenho térmico e sua normalização.....    | 123 |
| 4.4.2   | Análise de desempenho ambiental e sua normalização ..... | 125 |
| 4.4.3   | Análise de desempenho económico e sua normalização ..... | 127 |
| 4.4.4   | Nível de sustentabilidade global .....                   | 129 |
| 5       | Conclusões .....   | 132 |
| 5.1     | Principais conclusões.....                               | 132 |

|     |                                     |     |
|-----|-------------------------------------|-----|
| 5.2 | Limitações do estudo .....          | 133 |
| 5.3 | Futuras linhas de investigação..... | 134 |
| 6   | Bibliografia .....                  | 135 |
| 7   | Anexos .....                        | 145 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Os pilares do desenvolvimento sustentável. ....  | 20 |
| Figura 2 – Evolução das preocupações da indústria da construção. ....   | 22 |
| Figura 3 – Etapas do ciclo de vida de um produto. ....  | 25 |
| Figura 4 – Representação esquemática das fases do ciclo de vida incluídas em cada uma das três variantes de análises de ACV. .... | 26 |
| Figura 5 – Fases de estudo da ACV. ....   | 27 |
| Figura 6 – Evolução das fachadas em Portugal, desde a década de 40 à 90..   | 37 |
| Figura 7 – Sistema construtivo de parede dupla. ....  | 47 |
| Figura 8 – Sistema construtivo ETICS. ....  | 49 |
| Figura 9 – Bloco megatérmico Artebel. ....  | 50 |
| Figura 10 – Bloco termoacústico Artebel.....  | 51 |
| Figura 11 – Poliestireno Expandido Moldado (EPS). ....  | 53 |
| Figura 12 – Lã de rocha. ....   | 54 |
| Figura 13 – Aglomerado de cortiça expandida (ICB).....  | 56 |
| Figura 14 – Argamassa térmica Secil.....  | 57 |
| Figura 15 – Fluxograma da metodologia de investigação. ....   | 61 |
| Figura 16 – Constituição das camadas da parede dupla. ....  | 64 |
| Figura 17 – Constituição das camadas da parede ETICS.....   | 67 |
| Figura 18 – Constituição das camadas da parede com bloco térmico no formato ETICS (C.1.a; C.1.b; C.1.c; C.2.a; C.2.b; C.2.c)..... | 70 |
| Figura 19 – Constituição das camadas da parede com bloco térmico no formato simples (C.1.d; C.1.e; C.2.d; C.2.e).....             | 70 |
| Figura 20 – Gerador de preços Portugal. ....  | 76 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Componentes e objetivos dos cinco pilares do ecodesenvolvimento. ....   | 18 |
| Quadro 2 – Medidas para uma construção sustentável. ....   | 23 |
| Quadro 3 – Avaliação do ciclo de vida do EPS em kg. ....   | 32 |
| Quadro 4 – Cálculo e resultado para o peso próprio do EPS. ....  | 32 |
| Quadro 5 – Avaliação do ciclo de vida do EPS em m <sup>2</sup> . ....  | 33 |
| Quadro 6 – Resistências térmicas superficiais. ....  | 39 |
| Quadro 7 – Coeficiente de transmissão térmica da parede dupla. ....  | 40 |
| Quadro 8 – Parâmetros para avaliação do DEE. ....  | 41 |
| Quadro 9 – Zona climática de inverno. ....   | 42 |
| Quadro 10 – Zona climática de verão. ....  | 42 |
| Quadro 11 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação, Portugal Continental, Umáx [W/(m <sup>2</sup> .°C)]. .... | 45 |
| Quadro 12 – Definições construtivas para o sistema de parede dupla (solução A). ....   | 63 |
| Quadro 13 – Definições construtivas para o sistema ETICS (solução B). ....   | 63 |
| Quadro 14 – Definições construtivas para o sistema com bloco térmico (solução C). ....   | 63 |
| Quadro 15 – Peso de cada dimensão. ....  | 76 |
| Quadro 16 – Cálculo de graus-dias (GD). ....   | 78 |
| Quadro 17 – Cálculo de temperatura exterior média ( $\theta_{ext,v}$ ). ....   | 79 |
| Quadro 18 – Valores de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ). ....   | 80 |
| Quadro 19 – Análise do comportamento térmico de A.1.a. ....  | 80 |
| Quadro 20 – Análise do comportamento térmico de A.1.b. ....  | 81 |
| Quadro 21 – Análise do comportamento térmico de A.1.c. ....  | 82 |
| Quadro 22 – Análise do comportamento térmico de A.2.a. ....  | 82 |
| Quadro 23 – Análise do comportamento térmico de A.2.b. ....  | 83 |
| Quadro 24 – Análise do comportamento térmico de A.2.c. ....  | 84 |
| Quadro 25 – Análise do comportamento térmico de A.3.a. ....  | 84 |
| Quadro 26 – Análise do comportamento térmico de A.3.b. ....  | 85 |
| Quadro 27 – Análise do comportamento térmico de A.3.c. ....  | 86 |
| Quadro 28 – Análise do comportamento térmico de B.1.a. ....  | 87 |
| Quadro 29 – Análise do comportamento térmico de B.1.b. ....  | 87 |
| Quadro 30 – Análise do comportamento térmico de B.1.c. ....  | 88 |
| Quadro 31 – Análise do comportamento térmico de B.2.a. ....  | 89 |
| Quadro 32 – Análise do comportamento térmico de B.2.b. ....  | 89 |
| Quadro 33 – Análise do comportamento térmico de B.2.c. ....  | 90 |
| Quadro 34 – Análise do comportamento térmico de C.1.a. ....  | 91 |
| Quadro 35 – Análise do comportamento térmico de C.1.b. ....  | 92 |
| Quadro 36 – Análise do comportamento térmico de C.1.c. ....  | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 37 – Análise do comportamento térmico de C.1.d.....   | 93  |
| Quadro 38 – Análise do comportamento térmico de C.1.e.....   | 94  |
| Quadro 39 – Análise do comportamento térmico de C.2.a.....   | 94  |
| Quadro 40 – Análise do comportamento térmico de C.2.b.....   | 95  |
| Quadro 41 – Análise do comportamento térmico de C.2.c.....   | 96  |
| Quadro 42 – Análise do comportamento térmico de C.2.d.....   | 96  |
| Quadro 43 – Análise do comportamento térmico de C.2.e.....   | 97  |
| Quadro 44 – Quadro resumo da análise do comportamento térmico das soluções.<br>.....   | 98  |
| Quadro 45 – Valores de peso específico ( $p$ ). .....  | 99  |
| Quadro 46 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 100 |
| Quadro 47 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 101 |
| Quadro 48 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.c com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 102 |
| Quadro 49 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 102 |
| Quadro 50 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 103 |
| Quadro 51 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.c com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 104 |
| Quadro 52 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 104 |
| Quadro 53 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 105 |
| Quadro 54 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.c com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 106 |
| Quadro 55 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 107 |
| Quadro 56 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 108 |
| Quadro 57 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.c com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 109 |
| Quadro 58 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 110 |
| Quadro 59 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 111 |
| Quadro 60 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.c com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 112 |
| Quadro 61 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.a com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 113 |
| Quadro 62 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.b com base na espessura dos<br>materiais utilizados na solução construtiva. .... | 114 |

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 63 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 115 |
| Quadro 64 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.e com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 116 |
| Quadro 65 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 116 |
| Quadro 66 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 117 |
| Quadro 67 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 118 |
| Quadro 68 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.e com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva. .... | 118 |
| Quadro 69 – Quadro resumo da avaliação do ciclo de vida das soluções. ....  | 119 |
| Quadro 70 – Melhores e piores valores da avaliação do ciclo de vida das soluções. ....                                      | 120 |
| Quadro 71 – Valores dos materiais em estudo. ....   | 121 |
| Quadro 72 – Valores das soluções em estudo. ....  | 122 |
| Quadro 73 – Melhores e piores valores de U. ....  | 123 |
| Quadro 74 – Normalização dos resultados para U. ....  | 124 |
| Quadro 75 – Melhores e piores valores do desempenho de impacto ambiental. ....  | 125 |
| Quadro 76 – Normalização dos resultados para os impactos ambientais. ....   | 126 |
| Quadro 77 – Melhores e piores valores de análise económica. ....  | 127 |
| Quadro 78 – Normalização dos resultados para a análise económica. ....  | 128 |
| Quadro 79 – Nível de sustentabilidade global das soluções. ....   | 129 |

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

A sustentabilidade é um conceito oriundo da biologia que estuda o quanto o ecossistema sustenta as mudanças sem ser completamente destruído. Seu objetivo era avaliar os processos naturais e aplicar técnicas necessárias para preservar o ambiente de forma a conservá-lo para o futuro. Todavia, essa concepção foi moldada para estudar a sociedade e cuidar da qualidade de vida associada com a qualidade do ambiente. Com isso, seu objetivo passou a suprir as necessidades humanas sem afetar os ciclos naturais, garantindo recursos para as próximas gerações e aceitando que a natureza tem limites e precisa ser respeitada [1].

O termo desenvolvimento anteriormente era um processo associado com aspectos económicos, porém, com o passar do tempo, a valorização do bem-estar social e a preocupação com o meio ambiente incluíram a sustentabilidade, originando o conceito de desenvolvimento sustentável. Essa nova concepção busca englobar problemas de cunho económico, social e ambiental e estabelecer níveis de crescimento económico que estejam alinhados com a recuperação e a sustentabilidade dos recursos para as próximas gerações [2].

O século XX foi marcado pelo desenvolvimento acelerado da urbanização associado ao aumento populacional, que resultaram na expansão das cidades de forma desordenada [3]. Este crescimento urbano refletiu diretamente em problemas ambientais emergentes, como o desmatamento, as mudanças climáticas e no aumento do consumo por recursos naturais, energia e água potável [4].

Nos últimos anos, a conscientização da sociedade cresceu frente aos problemas de escassez da natureza. A busca por práticas menos agressivas ao meio ambiente atingiu principalmente o setor da construção civil, devido ao alto impacto ambiental e social das suas atividades [4]. Diante disso, pesquisadores e profissionais da área apontam a importância da utilização de materiais e

tecnologias construtivas inovadoras de forma inteligente, a fim de reduzir os danos causados [5].

A construção civil é apontada como a indústria que mais afeta negativamente o meio ambiente, em razão da sua intensa extração de recursos naturais, consumo de energia e geração de resíduos sólidos [6]. O impacto ambiental proveniente desta atividade está ligado a uma extensa cadeia de produção, que engloba desde a extração de matérias-primas até o término da vida útil do empreendimento. A crescente busca por práticas que visam o controle dos processos por meio de uma gestão sustentável é acompanhada por uma extensa variedade de referências, fornecendo suporte às empresas para aprimorarem seus desempenhos [7].

Diante desse problema, ao incluir a sustentabilidade na construção de edifícios, é essencial considerar todas as fases do seu processo, desde o projeto, execução, manutenção, até a possível demolição. Porém, para tornar esse processo mais sustentável, é preciso trabalhar na sua origem e zelar pelo momento da escolha dos materiais que se deseja utilizar, exigindo o controle desde a sua extração até a sua degradação [8].

Embora o controle da produção de impactos ambientais seja predominante nessa indústria, é crucial também contemplar os aspectos térmicos e económicos no momento de tornar uma construção sustentável, visto que, os diferentes consumidores da construção possuem diferentes interesses e exigências. Como, por exemplo, os investidores focam mais nas análises económicas, ao passo que os usuários finais possuem uma maior preocupação com aspectos relacionados ao conforto que o ambiente termicamente eficiente irá proporcionar [8].

Diante disso, o estudo dessa dissertação consiste em selecionar opções construtivas no âmbito da envolvente exterior de um edifício, considerando a zona climática de Bragança, norte de Portugal, e compará-las com base em critérios e princípios sustentáveis. O objetivo é encontrar a opção mais sustentável em nível global através das premissas da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), que

pondera os impactos ambientais, o desempenho térmico e a avaliação económica das soluções.

## 1.2 Objetivos do trabalho

Os objetivos deste trabalho estão divididos entre objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é:

Analisar soluções construtivas no âmbito de diversos parâmetros da sustentabilidade.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Avaliar o comportamento térmico das soluções propostas, através do coeficiente de transmissão térmica da zona climática de estudo;
- Estudar as categorias de impacto ambiental de cada solução, considerando a fase do ciclo de vida “cradle-to-gate” (do berço ao portão);
- Determinar o nível de sustentabilidade global das soluções.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Para o desenvolvimento desse estudo o trabalho foi dividido em cinco capítulos e anexos, a fim de alcançar os objetivos propostos, estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1: composto por introdução para contextualizar e apresentar brevemente sobre o assunto estudado e os objetivos que se pretendem alcançar;
- Capítulo 2: abrange a revisão de literatura de forma a introduzir todos os conceitos base desse estudo. Nesse capítulo será abordado o valor da sustentabilidade e da eficiência energética; a apresentação de soluções construtivas de isolamento térmico que serão estudadas; e a metodologia que permite avaliar o nível de sustentabilidade global de soluções construtivas;
- Capítulo 3: apresenta toda a metodologia de investigação utilizada para o desenvolvimento do trabalho, descrevendo com detalhes as opções construtivas escolhidas como objetos de estudo e o conjunto de métodos necessários para a realização da análise comparativa no âmbito sustentável, térmico e económico;
- Capítulo 4: corresponde aos resultados e discussões do trabalho, apresentando numericamente todas as análises e seus efeitos;
- Capítulo 5: relata as conclusões e a importância do estudo comparativo;
- BIBLIOGRAFIA: estão citados os artigos, trabalhos e livros utilizados como referência;
- ANEXO: encontra-se o capítulo 5 do Manual SCE utilizado para caracterizar a zona climática de estudo e os catálogos dos fabricantes de alguns produtos que foram utilizados nas análises.

## 2 Revisão de literatura

### 2.1 Sustentabilidade

#### 2.1.1 O princípio da sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade refere-se à eficiência de se conservar ao longo do tempo. O princípio do desenvolvimento sustentável é proporcionar qualidade de vida para a sociedade e o meio ambiente, respeitando o potencial de geração do ecossistema. A extração de recursos naturais, quando executada de modo sustentável, tende a não se esgotar, ao passo que uma sociedade sustentável não ameaça a natureza e seus componentes [9].

Crescimento populacional, qualidade de vida e modernização, são fatores diretamente associados com a sustentabilidade e se relaciona com os princípios de redução, reutilização e reciclagem. Segundo a norma NP EN 15643-1, sustentabilidade é a “capacidade para manter um sistema para as gerações presentes e futuras”, englobando aspectos referente a suas três vertentes: meio ambiente, sociedade e economia [10].

A história da sustentabilidade se originou a partir das consequências geradas no fim da segunda guerra mundial. O aumento populacional acompanhado pela aceleração no consumo de recursos renováveis e não renováveis e o avanço da industrialização, foram alguns fatores. Com isso, despertou a preocupação com o futuro do meio ambiente e a interação entre o homem e a natureza, surgindo na década de 40, do século passado, as primeiras Associações de Proteção Ambiental no pós-guerra [11].

Embora a revolução industrial e o desenvolvimento acelerado do pós-guerra proporcionaram qualidade de vida para a população, o ecossistema foi desequilibrado em busca de suprir as demandas por água potável, energia, alimento e madeira, reduzindo em 20% da área verde total do planeta e aumentando consideravelmente, no século XX, a emissão de CO<sub>2</sub> para a camada atmosférica [12].

Um dos primeiros anúncios feitos ao mundo sobre os limites físicos da Terra e a necessidade de adotar um desenvolvimento sustentável para evitar o esgotamento desses recursos, foi publicado em 1972 pelo Clube de Roma, nomeado como “Os limites do Crescimento”, seguido pela Conferência Mundial de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano. Ambos apresentaram o verdadeiro cenário que estaria se formando e as consequências negativas que sofreriam as futuras gerações [11].

Na Conferência de Estocolmo, Maurice Strong introduziu o conceito de “ecodesenvolvimento” e anos depois Ignacy Sachs disseminou essa ideia como sendo um processo de desenvolvimento com o objetivo de encontrar soluções para as necessidades ambientais do presente e do futuro, adaptando as estratégias de acordo com cada região territorial [13]. Baseado nesse conceito, Sachs estabelece cinco dimensões para o ecodesenvolvimento, sendo elas: sustentabilidade social, econômica, ecológica, geográfica e cultural [2].

No Quadro 1 é possível visualizar um resumo dos componentes e objetivos das cinco dimensões do desenvolvimento sustentável, desenvolvido por [14].

**Quadro 1 – Componentes e objetivos dos cinco pilares do ecodesenvolvimento.**

| <b>DIMENSÃO</b>            | <b>COMPONENTES</b>   | <b>OBJETIVOS</b>  |
|----------------------------|--|---|
| SUSTENTABILIDADE SOCIAL    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Criação de postos de trabalho que permitam renda individual adequada a melhor condição de vida e a melhor qualificação profissional.</li> <li>-Produção de bens dirigida prioritariamente às necessidades básicas sociais.</li> </ul>  | Redução das desigualdades sociais.                                |
| SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Fluxo permanente de investimentos públicos e privados (estes últimos com especial destaque para cooperativismo).</li> <li>-Manejo eficiente dos recursos.</li> <li>-Absorção pela empresa dos custos ambientais.</li> <li>-Endogeneização: contar com suas próprias forças.</li> </ul> | Aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa. |

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas.</li> <li>-Prudência no uso de recursos não-renováveis.</li> <li>-Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis.</li> <li>-Redução da intensidade energética e conservação de energia.</li> <li>-Tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos.</li> <li>-Cuidados ambientais.</li> </ul> | Qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para as próximas gerações. |
| SUSTENTABILIDADE GEOGRÁFICA | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Descentralização espacial (de atividade; de população).</li> <li>-Desconcentração/democratização local e regional do poder.</li> <li>-Relação cidade/campo equilibrada (benefícios centrípetos).</li> </ul>   | Evitar excesso de aglomerações.   |
| SUSTENTABILIDADE CULTURAL   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Soluções adaptadas a cada ecossistema.</li> <li>-Respeito à formação cultural comunitária.</li> </ul>   | Evitar conflitos culturais com potencial regressivo.  |

Fonte: Montibeller, 1993 [14].

Anos depois, em 1987, foi publicado o relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, liderada pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que definiu o conceito moderno de desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” [15].

O, assim chamado, Relatório de Brundtland, despertou a percepção da necessidade urgente de mudar os hábitos de consumo para alcançar um equilíbrio entre o meio ambiente, a sociedade e a economia (Figura 1), do contrário, os recursos e a capacidade da Terra de se regenerar se esgotariam [16].



**Figura 1 – Os pilares do desenvolvimento sustentável.**  
Fonte: Ricardo Mateus, 2004 [17].

Em resumo, a ideia por trás do desenvolvimento sustentável é resgatar uma racionalização abrangente, envolvendo a busca pelo equilíbrio nas disparidades sociais por meio da justiça social, na esfera econômica por meio da eficiência econômica e no âmbito ecológico por meio da prudência ambiental [17].

Em 1992 o Brasil sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), na cidade do Rio de Janeiro [18]. Essa conferência reuniu líderes de Estado e Governo e ficou marcada por um evento único na sensibilização global sobre a urgência de implementar uma política genuína de desenvolvimento sustentável em escala mundial [19].

Uma das mais importantes resoluções constituídas nesta Conferência foi a Agenda 21, que determinou o compromisso de cada país signatário, estabelecendo comissões internas dedicadas a refletir, em âmbito global e local, sobre como diferentes setores da sociedade, governos, instituições acadêmicas, empresas e organizações não governamentais poderiam colaborar na busca de soluções para os desafios socioambientais [18].

A introdução da Agenda 21 contribuiu para uma mudança na percepção do conceito de desenvolvimento sustentável que passou a ser entendido não apenas como uma salvaguarda ambiental, mas também englobando a qualidade de vida da sociedade. A equidade entre essas populações no presente e no futuro tornou-se parte integrante desse conceito, incorporando preocupações éticas, de saúde e bem-estar [16].

Esses marcos históricos contribuíram para a evolução do conceito de sustentabilidade e para o seu reconhecimento global como um princípio fundamental para o desenvolvimento humano. Desde então, a sustentabilidade tem se expandido para abranger não apenas preocupações ambientais, mas também questões sociais e económicas, tornando-se um princípio orientador em muitos campos, incluindo negócios, política e planejamento urbano.

### 2.1.2 Sustentabilidade na construção civil

O constante crescimento populacional resulta no aumento do consumo de bens e serviços referentes a alimentação, transporte e habitação e essa realidade causa grandes impactos ambientais. O consumo energético residencial que traz conforto aos usuários está entre o maior causador desse impacto, seguido da construção e dos eletrodomésticos [10].

A construção civil é um dos setores da economia que mais contribui para o desenvolvimento contínuo do país. Através da construção de novos projetos e da reabilitação de edifícios e de infraestruturas essa área colabora com a geração de empregos, movimentação do comércio de materiais e do mercado imobiliário, gerando impactos sociais significativos [20].

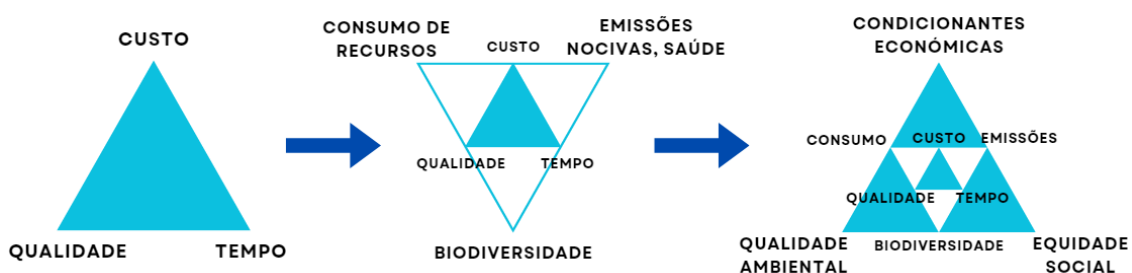
Apesar de ser uma atividade vital para o avanço urbano e económico, também gera uma série de impactos negativos ao meio ambiente, em todos os processos da sua cadeia produtiva, pois é um dos maiores consumidores de recursos naturais, incluindo a madeira, água e minerais. Além disso, o processo

construtivo gera uma quantidade significativa de resíduos, desde materiais de construção não utilizados até demolição de estruturas antigas [16].

No final do século XVIII, início da Revolução Industrial na Inglaterra, testemunhou-se a migração de habitantes das áreas rurais para os centros urbanos, na busca por oportunidades de emprego e condições salariais melhores. Nesse período, a população nas cidades cresceu de forma desordenada e o rápido aumento desses centros não foi acompanhado por um planejamento adequado e proporcional das infraestruturas, levando a condições extremamente insalubres [17].

Com o objetivo de reverter a tendência de degradação ambiental, Charles Kibert propôs em 1994 um conceito inovador para a construção, denominado Construção Sustentável. Essa nova concepção tinha como principal objetivo contribuir para a conservação do ecossistema, promover o respeito pelos recursos naturais e melhorar a qualidade de vida humana [21].

Esse conceito chega para alterar os motivos tradicionalmente considerados competitivos na indústria da construção: a qualidade, o tempo e o custo. Surge então a construção eco-eficiente, reforçando a valorização da qualidade ambiental, incorporando as preocupações ecológicas com as condicionantes económicas, equidade social e o legado cultural, Figura 2 [16].



**Figura 2 – Evolução das preocupações da indústria da construção.**  
 Fonte: Adaptado de [10] [16] [17].

A sustentabilidade na construção civil é uma abordagem que busca equilibrar o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, garantindo que as atividades relacionadas à construção sejam ambientalmente responsáveis,

economicamente viáveis e socialmente justas [22]. As práticas vão além da simples redução do desperdício, elas promovem o uso inteligente dos recursos, buscando reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, aumentar a reciclagem, entre outros fatores descritos no Quadro 2 [10].

**Quadro 2 – Medidas para uma construção sustentável.**

| <b>Âmbito de atuação</b>      | <b>Medidas a considerar</b>   |
|-------------------------------|---|
| Eficiência energética         | Utilizar tecnologias que reduzam o consumo de energia em edifícios, como:<br>- métodos de isolamento térmico passivo;<br>- sistema racional de energia com mecanismos de poupança;<br>- fontes de energia renováveis (solar, eólica). |
| Uso de materiais sustentáveis | Escolher materiais que sejam renováveis, ou de baixo impacto, como:<br>- madeira certificada;<br>- materiais reciclados;<br>- produtos com menor pegada de carbono.   |
| Gestão de resíduos            | Implementar práticas dentro e fora do canteiro de obras, como:<br>- minimizar os resíduos da construção;<br>- destinar de forma adequada os resíduos gerados para a reciclagem.   |
| Gestão e economia de água     | Adotar sistemas que promovam o uso eficiente da água, como:<br>- uso de dispositivos economizadores;<br>- técnicas de retenção de água da chuva.  |
| Inovação tecnológica          | Utilizar tecnologias inovadoras, como:<br>- sensores de eficiência energética;<br>- sistema de automação predial.   |

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2012 [10].

Por fim, a sustentabilidade na construção civil não apenas beneficia o meio ambiente, mas também contribui para a eficiência operacional, redução de custos a longo prazo e melhoria na qualidade de vida das comunidades. Além disso, promove uma abordagem responsável e ética para atender as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras.

### 2.1.3 Avaliação do ciclo de vida

O setor da construção civil desempenha um papel significativo na economia nacional. A busca constante por aprimoramento, caracterizada por um mercado competitivo e sujeito a instrumentos de regulamentação e normas, resulta em um campo da engenharia que procura selecionar métodos de construção ambientalmente responsáveis [23].

Essa conscientização ambiental vem crescendo desde os anos 90 e vários estudos são realizados para reduzir os impactos causados tanto em obras de novas edificações, quanto em obras de reabilitações. A incorporação de materiais menos prejudiciais, oriundos da reciclagem ou caracterizados por um desempenho energético superior, proporciona a redução dos impactos ambientais e colabora para a mitigação de sua pegada de carbono [24].

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que examina os impactos ambientais de um produto, processo ou atividade através da avaliação de um registro que contempla as entradas e saídas do sistema em questão, desde a extração de matérias-primas até o descarte final, ou seja, durante todo o seu ciclo de vida (Figura 3), buscando compreender e quantificar os aspectos ambientais relevantes em cada etapa, incluindo a produção, o uso e o descarte [23]. Atualmente, quando esse recurso é praticado em edifícios, também pode-se incluir a análise econômica e funcional na aplicação deste método [25].



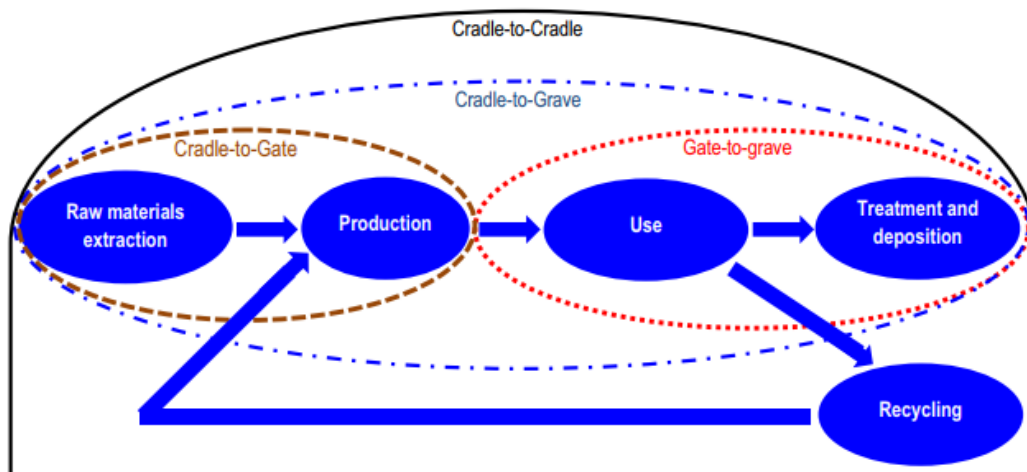
**Figura 3 – Etapas do ciclo de vida de um produto.**

Fonte: Brant, 2017 [26].

Existem três tipos de análises para a ACV que podem ser estudadas, são elas [27]:

- **Cradle-to-grave** (“do berço ao túmulo”): esse ciclo abrange desde a fase de extração da matéria prima até a fase final, ou seja, todas as etapas do ciclo de vida;
- **Cradle-to-gate** (“do berço ao portão”): esse ciclo abrange as fases de extração da matéria prima até o portão da fábrica, ou seja, todos os processos anteriores ao transporte;
- **Cradle-to-cradle** (“do berço ao berço”): esse ciclo abrange desde a fase de extração da matéria prima até o processo de reciclagem ou reutilização dos materiais.

A Figura 4 ilustra o esquema das etapas do ciclo de vida presentes em cada uma das três análises.



**Figura 4 – Representação esquemática das fases do ciclo de vida incluídas em cada uma das três variantes de análises de ACV.**

Fonte: Bragança e Mateus, 2012 [25].

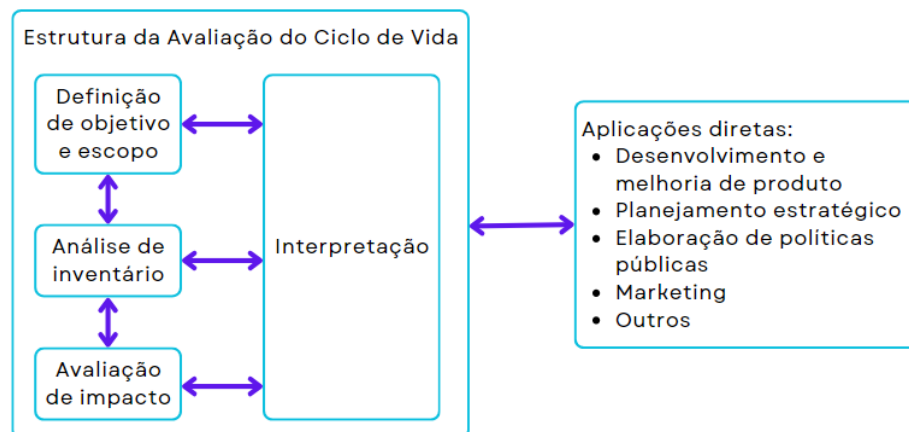
As normas que regulamentam a ACV fazem parte do conjunto ISO 14000. Em Portugal a NP EN ISO 14040:2006+A1:2020 especifica a ACV de modo geral abordando seus princípios e enquadramento, já a ISO 14044:2010 direciona-se para os requisitos e linhas de orientação para a realização da ACV, completando uma a outra [28]. Em resumo, uma análise do ciclo de vida está baseada na *“compilação dos fluxos de entradas e saídas de materiais e energia, avaliando os impactos ambientais associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida”* [10].

O estudo de avaliação do ciclo de vida envolve quatro fases analíticas principais, descritas abaixo [29] [30] e ilustradas na Figura 5:

1. **Definição de objetivo e escopo:** nesta fase, os objetivos específicos do estudo de ACV são estabelecidos. Isso inclui a definição clara do que está sendo avaliado (um produto, processo ou atividade), os limites do sistema (quais etapas do ciclo de vida serão incluídas) e os impactos ambientais relevantes a serem considerados. Essa fase ajuda a orientar o restante do estudo;
2. **Análise de inventário:** nesta fase, todas as entradas e saídas relevantes associadas ao produto em questão são identificadas e quantificadas. Isso inclui matérias-primas, energia, emissões

atmosféricas, resíduos, entre outros. O resultado fornece uma visão abrangente dos fluxos de materiais e energia ao longo do ciclo de vida;

3. **Avaliação de impacto:** nessa fase, as entradas e saídas identificadas no inventário são avaliadas em termos de seus impactos ambientais potenciais. Isso envolve a aplicação de fatores de caracterização e categorias de impacto para traduzir os dados de inventário em indicadores ambientais mensuráveis, como emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais, entre outros;
4. **Interpretação:** nessa última fase, os resultados da avaliação dos impactos são interpretados de acordo com os objetivos e escopo definidos na fase inicial. Isso inclui a identificação de áreas críticas, oportunidades de melhoria e descobertas. Também é o momento de comunicar os resultados de forma clara e relevante para os tomadores de decisão.



**Figura 5 – Fases de estudo da ACV.**  
Fonte: Adaptado de ISO 14040, 2008 [31].

Essa metodologia constitui o processo abrangente de Avaliação do Ciclo de Vida, que fornece uma compreensão dos impactos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de seu ciclo de vida completo. Estas trabalham

paralelamente de forma que as informações coletadas na última fase podem afetar as anteriores e assim elas devem ser reavaliadas [29].

#### 2.1.4 Categorias de impacto ambiental

As categorias de impacto ambiental representam os diferentes aspectos ambientais que podem ser avaliados durante a fase de avaliação dos impactos em um estudo de ACV. Essas categorias ajudam a quantificar e avaliar os efeitos potenciais de um produto, processo ou atividade sobre o meio ambiente. Algumas categorias comuns incluem [25]:

- Potencial esgotamento de recursos abióticos (ADP);
- Potencial de aquecimento global (GWP);
- Potencial de destruição da camada de ozônio (ODP);
- Potencial de acidificação (AP);
- Potencial de criação de ozônio fotoquímico (POCP);
- Potencial de eutrofização (EP);
- Energia não-renovável incorporada (ENR);
- Energia renovável incorporada (ER).

##### 2.1.4.1 Potencial esgotamento de recursos abióticos (ADP)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo avaliar a preservação dos recursos naturais incluindo combustíveis fósseis. O valor da ADP está associado à quantidade de cada material extraído, sendo baseado nas reservas disponíveis e na taxa de esgotamento das mesmas. A unidade de medida é expressa em quilogramas equivalentes de antimônio (Sb) por quilograma de recurso extraído [Kg Sb] [25].

#### 2.1.4.2 Potencial de aquecimento global (GWP)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo analisar a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera, em um período de tempo de 100 anos. A unidade de medida é expressa em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono por quilograma de emissão libertada para a atmosfera [Kg CO<sub>2</sub>] [25].

#### 2.1.4.3 Potencial de destruição da camada de ozônio (ODP)

Esta categoria de impacto ambiental foi desenvolvida através de um modelo de caracterização criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) que definiu o potencial de destruição da camada de ozônio de diferentes gases. As consequências causadas pela destruição da camada de ozônio refletem no aumento da quantidade de radiação UV-V que atinge a superfície terrestre. Esta situação causa danos negativos na saúde humana, animal e equilíbrio dos ecossistemas. A unidade de medida de ODP é expressa em quilogramas equivalentes de triclorofluometano (CFC-11) por quilograma de emissão [Kg CFC-11] [25].

#### 2.1.4.4 Potencial de acidificação (AP)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo avaliar a quantidade de gases que são emitidos para a atmosfera e convertidos em substâncias ácidas. Como por exemplo, o dióxido de enxofre, que é formado pela queima de combustíveis fósseis como o carvão, e o óxido de nitrogênio, que é produzido por diversas atividades industriais e está presente nas emissões do setor de transportes. Ambos os gases são liberados e em seguida transportados através da ação dos ventos e se transformam em partículas ácidas causando as chuvas ácidas. A unidade de medida é expressa em quilogramas equivalentes

de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) por cada quilograma de emissões para a atmosfera [Kg SO<sub>2</sub>] [25].

#### 2.1.4.5 Potencial de criação de ozônio fotoquímico (POCP)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo medir a capacidade de uma substância orgânica volátil para produzir ozônio. Além de ser formado naturalmente, o ozônio também se origina de reações fotoquímicas nas emissões industriais e de automóveis, sendo o ozônio troposférico um dos poluentes atmosféricos mais graves na Europa. A unidade de medida é expressa em quilogramas equivalentes de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) por cada quilograma de emissão [Kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>] [25].

#### 2.1.4.6 Potencial de eutrofização (EP)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo analisar o excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, que podem causar o crescimento excessivo de plantas em corpos d'água. A unidade de medida é expressa em quilogramas equivalentes de fosfato (PO<sub>4</sub>) por quilograma de emissão [Kg PO<sub>4</sub>] [25].

#### 2.1.4.7 Energia não-renovável incorporada (ENR)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo expressar o consumo de energia não renovável presente no ciclo de vida de um produto. A unidade de medida é expressa em equivalentes de megajoules (MJ) e inclui energia fóssil e nuclear [MJ] [25].

#### 2.1.4.8 Energia renovável incorporada (ER)

Esta categoria de impacto ambiental tem como objetivo identificar o consumo de energia de fontes renováveis utilizado nas diferentes fases de ciclo de vida, sem expressar impactos ambientais negativos, pois demonstra a utilização de fontes de energia renováveis. A unidade de medida é expressa em equivalentes de megajoules (MJ) e inclui energia fóssil e nuclear [MJ] [25].

#### 2.1.4.9 Interpretação do conteúdo das categorias de impacto ambiental

Estas, referidas anteriormente, são algumas das categorias de impacto ambiental habitualmente consideradas em estudos de ACV. A escolha das categorias depende do escopo do estudo e dos impactos relevantes para o produto ou processo em questão. Cada categoria é geralmente representada por indicadores específicos que quantificam os impactos na unidade apropriada.

Os valores fornecidos para as categorias são expressos baseados na emissão de quilograma, mas no momento de avaliar os índices de impactos ambientais dos materiais da construção civil, não se torna viável compará-los em unidade de quilograma, pois cada material apresenta características próprias. Sendo assim, o mais apropriado é considerar a análise baseado na produção de m<sup>2</sup> de material ligado à espessura definida para cada elemento [21].

Para converter os valores das categorias de impacto ambiental de kg para m<sup>2</sup> é necessário multiplicar o valor de cada índice pelo peso próprio de cada material, e o cálculo do peso próprio é realizado através das Equações 1 e 2 [21]:

$$PP = pV \quad \text{Equação 1}$$

$$V = Ae \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- $PP$  = Peso próprio [kg];
- $p$  = Peso específico [kg/m<sup>3</sup>];
- $V$  = Volume [m<sup>3</sup>];
- $A$  = Área [m<sup>2</sup>];
- $e$  = Espessura [m].

Para exemplificar o cálculo acima, será considerado avaliar as categorias de impacto ambiental do material de isolamento EPS. No Quadro 3 será apresentado os valores de impacto ambiental, a título de exemplo, do material de isolamento térmico EPS (Poliestireno expandido) em unidade de quilograma de emissão. Para a conversão de kg para m<sup>2</sup> será considerado que a espessura do material é de 0,06 m, a sua área será de 1 m<sup>2</sup> e seu peso específico é 25 kg/m<sup>3</sup>. Já no Quadro 4 é possível visualizar os valores definidos para o mesmo material EPS e o cálculo do seu peso próprio.

**Quadro 3 – Avaliação do ciclo de vida do EPS em kg.**

| Material | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                      |            |                      |                                    |                      |          |          |
|----------|--|----------------------|------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------|----------|
|          | ADP                                    | GWP                  | ODP        | AP                   | POCP                               | EP                   | ENR      | ER       |
|          | (kgSb)                                 | (kgCO <sub>2</sub> ) | (kgCFC-11) | (kgSO <sub>2</sub> ) | (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (kgPO <sub>4</sub> ) | MJ       | MJ       |
| EPS      | 4,63E-02                               | 4,14E+00             | 1,10E-07   | 1,49E-02             | 6,75E-03                           | 1,24E-03             | 1,05E+02 | 1,01E+00 |

Fonte: O autor.

**Quadro 4 – Cálculo e resultado para o peso próprio do EPS.**

| Material | Espessura (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Peso específico (kg/m <sup>3</sup> ) | Peso próprio (kg) |
|----------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| EPS      | 0,06          | 0,06                     | 25                                   | 1,5               |

Fonte: O autor.

Multiplicando o valor do peso próprio (Quadro 4) pelos índices de impacto ambiental presentes no Quadro 3, é possível encontrar os resultados dos índices

em unidade de m<sup>2</sup> para o material EPS (Quadro 5) e tornar os parâmetros de impacto ambiental passíveis de análise quando comparados com outros diferentes materiais.

**Quadro 5 – Avaliação do ciclo de vida do EPS em m<sup>2</sup>.**

| Material | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |          |                    |                                  |                    |          |          |
|----------|--|--------------------|----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------|----------|
|          | ADP                                    | GWP                | ODP      | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR      | ER       |
|          | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11) | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | MJ       | MJ       |
| EPS      | 6,95E-02                               | 6,21E+00           | 1,65E-07 | 2,24E-02           | 1,01E-02                         | 1,86E-03           | 1,58E+02 | 1,52E+00 |

Fonte: O autor.

## 2.2 Eficiência energética

### 2.2.1 Enquadramento

A energia se apresenta como um bem fundamental na existência do planeta Terra, destacando-se como a principal força impulsionadora da evolução da sociedade e como um elemento crucial para o progresso [32]. Energia é sinônimo de conforto e mobilidade, ela pode se manifestar como calor, frio, movimento ou luz e é fundamental para a produção da maior parte da riqueza. O desenvolvimento económico e a melhoria da qualidade de vida dependem diretamente da disponibilidade de energia [33].

O setor que apresenta o maior consumo de recursos energéticos é o de transportes, pois depende do consumo de petróleo. No setor industrial, a dependência de diversas fontes energéticas é observada, mas a globalização impõe um controle mais rigoroso nos gastos energéticos para garantir a competitividade dos produtos no mercado. Quanto ao setor residencial, o consumo de eletricidade tem aumentado ao longo dos anos devido a novos padrões de consumo. Neste setor, a dependência recai principalmente na eletricidade, podendo esta ser gerada a partir de fontes renováveis (solar, eólica, hídrica) ou em centrais térmicas [34].

Diante desse fato, é responsabilidade crescente do poder público compreender o comportamento dos consumidores, a fim de desenvolver estratégias que incentivem o uso consciente de energia em diversos setores, visando a otimização do consumo energético pela sociedade [35].

A eficiência energética busca economizar energia sem comprometer a qualidade, conforto e saúde. Esse conceito teve origem na Europa na década de 1970 [36]. Ela é reconhecida como uma das abordagens mais rentáveis para diminuir as emissões de gases de efeito estufa e desempenhar um papel crucial na redução das mudanças climáticas [37].

Para Dutra (1997), a obtenção de um serviço de qualidade, com baixo desperdício energético e conseqüentemente menor impacto ambiental é definido como eficiência energética [38]. Este é um conceito em constante evolução, intrinsecamente ligado ao crescimento económico, ao aumento da produtividade, a preservação do meio ambiente e ao fomento do desenvolvimento sustentável. Ela visa maximizar o resultado desejado enquanto minimiza as perdas ou as mudanças irreversíveis [39].

O objetivo não é apenas diminuir, mas sim adotar um uso eficaz e consciente da energia, resultando na redução do consumo e, como consequência, na diminuição das emissões de gases na atmosfera [40]. Portanto, a eficiência energética não é apenas uma abordagem técnica, mas uma mudança de paradigma para garantir que a sociedade atenda suas necessidades energéticas de maneira inteligente, minimizando o impacto ambiental e promovendo a sustentabilidade a longo prazo.

### 2.2.2 Eficiência energética na construção civil

O setor económico da construção civil é o responsável por transformar o ambiente natural em um ambiente construído, de forma a trazer conforto e satisfazer as condições de vida das populações. Esse ambiente, além de construído deve ser mantido e atualizado constantemente e o impacto ambiental

gerado, de forma sucinta, ocorre desde a extração e transporte das matérias primas, na produção e no transporte de bens e materiais, na execução de projetos e da construção física, na manutenção das edificações, até a demolição e destinação dos resíduos gerado durante a vida útil dessa construção [38].

Antigamente, a construção de edifícios era guiada pela disponibilidade de recursos naturais locais e adaptada ao clima regional. Com o avanço tecnológico a indústria da construção passou a priorizar sistemas de climatização para garantir conforto térmico, muitas vezes negligenciando a aplicação de soluções adequadas a esse clima na construção. Esse padrão, combinado com um aumento na qualidade de vida e na demanda por conforto nas residências, resultou em uma dependência crescente de equipamentos de aquecimento e resfriamento, resultando em um aumento significativo no consumo de energia pelos edifícios [41].

Aproximadamente 12% da energia consumida por um edifício ocorre na sua etapa de construção. Esse gasto energético tende a aumentar durante a sua vida útil, devido a utilização de equipamentos de aquecimento e arrefecimento do ar e da água, ventilação e demais aparelhos elétricos presentes na edificação. Com isso, mostra-se importante que seja planejado, desde o início, uma melhor eficiência energética das construções em todas as suas fases, adotando soluções ativas e/ou passivas para que se atinja o objetivo de reduzir o consumo de energia [41].

Na Europa, de entre várias estratégias existentes para alcançar a eficiência energética nos edifícios, foram estabelecidos marcos legislativos específicos, incluindo a Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD, 2010/31/EU) e a Diretiva de Eficiência Energética (EED, 2012/27/EU). Estas diretrizes, combinadas, viabilizam a aplicação de políticas para ajudar o setor da construção europeia a atingir uma elevada eficiência energética e descarbonização até 2050, permitindo que os consumidores façam escolhas inteligentes, promovendo a economia de energia e de recursos financeiros [42].

Outro conjunto de políticas e ações importante é a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE), desenvolvida com colaboração

da Agência Nacional de Energia - ADENE. Essa estratégia prevê a reabilitação de 100% do parque de edifícios existentes até 2050, adotando medidas em sete áreas de atuação, sendo: Renovação do Edificado; Edifícios Inteligentes; Certificação Energética; Formação e Qualificação; Combate à Pobreza Energética; Informação e Consciencialização; e Monitorização. Estas medidas contribuem para o desempenho de três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), são eles: ODS 1 – Erradicar a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares; ODS 7 – Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos; ODS 8 – Promover o crescimento económico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos [42].

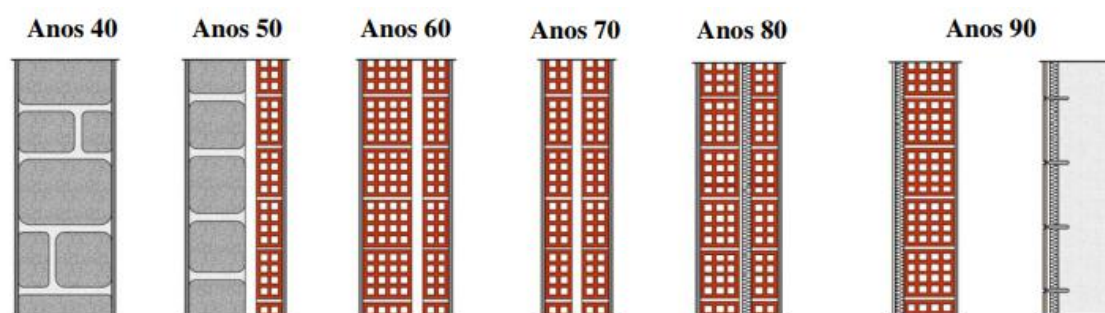
Aprimorar a eficiência energética pode fortalecer a segurança energética em âmbito regional ou nacional. Em nações altamente dependentes de energia externa, como Portugal, melhorar a eficiência energética pode resultar na redução das importações de combustíveis fósseis. Isso se dá pela diminuição da demanda por serviços energéticos e pelo aumento da integração de fontes renováveis [42].

## 2.3 Soluções de isolamento térmico

### 2.3.1 Enquadramento

No início do século XX o método padrão de construir em Portugal era misto, normalmente formado por alvenaria de pedra e cal, e variava de acordo com os materiais disponíveis na região. Entre os anos 40 e 50 a parede exterior foi mudando sua configuração, passando de alvenaria de pedra para um sistema misto composto de dois panos, onde o exterior era formado por pedra e o interior era formado por tijolo furado, separados por um vão de ar. Nos anos 60 esse método evoluiu e as envolventes passaram a ser constituídas por dois panos de tijolo cerâmico furado separados por uma caixa-de-ar, mas sempre mantendo uma grande espessura. Já na década de 70 a qualidade das paredes reduziu,

pois, a técnica do momento diminuiu o tamanho da sua espessura, o que refletiu em um mal desempenho da envolvente. Finalmente, nos anos 80, os materiais de isolamento térmico passaram a ser utilizados para preencher a caixa-de-ar na parede dupla e essa nova estratégia resultou em um aumento no comportamento térmico das envolventes. Foi assim que, dos anos 90 até o final do século XX, o sistema de parede exterior com isolamento térmico ganhou atenção e os sistemas foram evoluindo cada vez mais (Figura 6) [43] [44].



**Figura 6 – Evolução das fachadas em Portugal, desde a década de 40 à 90.**

Fonte: Ferreira, 2009 [43].

O isolamento térmico está diretamente associado à capacidade de um determinado material em armazenar calor [45]. Com a necessidade de poupar energia e ao mesmo tempo garantir o conforto térmico nas habitações, houve a necessidade de melhorar o desempenho térmico das paredes, implementando novos sistemas e materiais com comportamentos específicos [46].

A escolha de forma inteligente por materiais ou técnicas com baixa condutividade térmica possibilita a redução da transferência de energia na forma de calor entre o interior e o exterior das residências. Existem quatro áreas principais onde a aplicação de isolamento térmico é fundamental, nomeadamente: cobertura, paredes, pavimento, superfícies envidraçadas [45].

A envolvente opaca de um edifício engloba a cobertura, as paredes e o pavimento, oferecendo diversas opções de isolamento e métodos construtivos para cada uma dessas partes. Atualmente, os materiais mais comuns para isolamento térmico incluem lã mineral/rocha, poliestireno expandido (EPS),

aglomerado de cortiça expandida (ICB), poliestireno extrudido (XPS), entre outros [45].

A eficiência do isolamento térmico em um componente da estrutura e da solução construtiva como um todo, é representada pelo coeficiente de transmissão térmica, U. Quanto maior o valor desse coeficiente, menor será a capacidade de isolamento da estrutura. Em outras palavras, a diminuição do coeficiente U, que é alcançada pelo aumento da espessura do isolamento térmico, implica em um investimento inicial mais elevado, mas resulta em menores consumos energéticos ao longo da operação/utilização do edifício [43].

A avaliação do coeficiente de transmissão térmica, U, de um material ou de uma solução construtiva, pode ser realizada através da Equação 3, previsto na norma EN ISO 6946 [47]. Esse cálculo leva em consideração a resistência térmica superficial interior e exterior que a solução construtiva está sujeita, que pode variar de acordo com o sentido do fluxo de calor da sua posição, podendo ser horizontal, ascendente ou descendente (Quadro 6), e a somatória da resistência térmica de cada material constituinte do elemento construtivo avaliado, através da razão (Equação 3). Na Equação 4 é possível determinar a resistência térmica de cada material constituinte do elemento construtivo, através da razão entre a espessura do material pelo valor da condutibilidade térmica do mesmo [48].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $n$  = nº de materiais na solução construtiva;
- $R_{si}$  = Resistência térmica da superfície interior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];
- $R_j$  = Resistência térmica de cada material j [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];
- $R_{se}$  = Resistência térmica da superfície exterior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ].

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

**Equação 4**

Onde:

- $d_j$  = Espessura de cada material  $j$  [m];
- $\lambda_j$  = Condutibilidade térmica de cada material  $j$  [W/(m.°C)].

**Quadro 6 – Resistências térmicas superficiais.**

| Sentido do fluxo de calor | Resistência térmica superficial [(m².°C)/W] |                |
|---------------------------|---|----------------|
|                           | Interior (Rsi)                              | Exterior (Rse) |
| Horizontal                | 0,13  | 0,04           |
| Ascendente                | 0,10  |                |
| Descendente               | 0,17  |                |

Fonte: Manual SCE [48].

Para exemplificar os cálculos acima, será considerado avaliar o coeficiente de transmissão térmica, U, de uma parede dupla formada por duas camadas de argamassa de reboco de 0,02m, sendo uma interior e outra exterior, pano interior de tijolo cerâmico de espessura de 0,11m, pano exterior de tijolo cerâmico de espessura de 0,22m, isolamento térmico em EPS com espessura de 0,08m e caixa de ar com espessura menor que 0,5cm.

No Quadro 7 é possível visualizar o cálculo de U para a parede dupla descrita. Os valores de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de cada material são determinados por [49] e o valor da resistência térmica da caixa de ar não está incluso nos cálculos, pois sua espessura foi definida como menor do que 0,5 cm então o valor da resistência térmica será igual a 0 [48].

**Quadro 7 – Coeficiente de transmissão térmica da parede dupla.**

| <b>Elementos da parede dupla</b>  | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<sup>0</sup>C)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C/W)</b> |
|---|----------------------|--|--|
| Rse   | -                    | -  | 0,04                                     |
| Argamassa de reboco exterior  | 0,02                 | 1,300  | 0,02                                     |
| Tijolo exterior (30x20x22)  | 0,22                 | 0,340  | 0,65                                     |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)  | 0,08                 | 0,037  | 2,16                                     |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,11                 | 0,340  | 0,32                                     |
| Argamassa de reboco interior  | 0,02                 | 1,300  | 0,02                                     |
| Rsi   | -                    | -  | 0,13                                     |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C/W)</b>            |                      |  | <b>3,33</b>                              |
| <b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C)</b> |                      |  | <b>0,30</b>                              |

Fonte: O autor.

De acordo com o capítulo 5 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (Manual SCE), aprovado pelo Despacho n. ° 6476-H/2021, de 1 de julho [48], presente no Anexo I, para avaliar o Desempenho Energético de um Edifício (DEE) em uma região determinada, deve-se considerar parâmetros relativos à localização, entorno e clima da zona. No Quadro 8 é possível verificar um resumo das definições estabelecidas para cada parâmetro de acordo com [48].

**Quadro 8 – Parâmetros para avaliação do DEE.**

| <b>Parâmetros</b> | <b>Definições</b>             |           |
|-------------------|-------------------------------|-----------|
| Localização       | Coordenadas cartesianas       |           |
|                   | Altitude                      |           |
|                   | Morada postal                 |           |
| Entorno           | Região do território          | Região A  |
|                   |                               | Região B  |
|                   | Rugosidade                    | I         |
|                   |                               | II        |
|                   |                               | III       |
|                   | Classe de proteção da fachada | Protegido |
| Normal            |                               |           |
| Desprotegido      |                               |           |
| Clima             | Zona climática de inverno     | I1        |
|                   |                               | I2        |
|                   |                               | I3        |
|                   | Zona climática de verão       | V1        |
|                   |                               | V2        |
|                   |                               | V3        |

Fonte: Adaptado de Manual SCE, [48].

Para determinar os parâmetros de entorno e clima deve-se considerar algumas características adicionais [48], são elas:

- Entorno
  - Região do território: “Região A – Todo o território Nacional, exceto os locais pertencentes à região B; Região B – Região Autónoma da Madeira, Região Autónoma dos Açores e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou com altitude superior a 600 m.”
  - Rugosidade: “I - Edifícios inseridos no interior de uma zona urbana; II - Edifícios não enquadrados nas rugosidades I ou III e edifícios inseridos na periferia das zonas com rugosidade I ou III; III - Edifícios inseridos na primeira linha numa faixa de 1 km de largura junto à costa, incluindo zona de estuário e Edifícios inseridos em zonas muito expostas, mediante a inexistência de obstáculos que atenuem a ação do vento. ”

- Classe de proteção da fachada: “Deve ser determinada em função da relação entre a distância do edifício aos obstáculos ( $D_{obs}$ ) e a altura destes ( $H_{obs}$ ) expresso em metros, onde Proteção:  $D_{obs}/H_{obs} < 1,5$ ; Normal:  $1,5 \leq D_{obs}/H_{obs} \leq 4$ ; Desprotegido:  $D_{obs}/H_{obs} > 4$ .”

- Clima

Para avaliar o DEE em função do clima é necessário definir a nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS) de nível III, de acordo com o concelho onde o edifício se localiza. A construção deve ser caracterizada quanto a sua zona climática de inverno e verão, pois são critérios necessários para a avaliação dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e dos indicadores de conforto térmico [48].

No Quadro 9 é possível verificar as definições existentes para a zona climática de inverno, a partir do número de graus-dias ( $GD$ ) na estação de aquecimento e no Quadro 10 é possível verificar as definições para a zona climática de verão, a partir da temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ) [48].

**Quadro 9 – Zona climática de inverno.**

| <b>Critério</b>           | <b><math>GD \leq 1300^{\circ}\text{C}</math></b> | <b><math>1300^{\circ}\text{C} &lt; GD \leq 1800^{\circ}\text{C}</math></b> | <b><math>GD &gt; 1800^{\circ}\text{C}</math></b> |
|---------------------------|--|--|--|
| Zona climática de inverno | I1   | I2   | I3   |

Fonte: Manual SCE, [48].

**Quadro 10 – Zona climática de verão.**

| <b>Critério</b>         | <b><math>\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}</math></b> | <b><math>20^{\circ}\text{C} &lt; \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}</math></b> | <b><math>\theta_{ext,v} &gt; 22^{\circ}\text{C}</math></b> |
|-------------------------|--|--|--|
| Zona climática de verão | V1   | V2   | V3   |

Fonte: Manual SCE, [48].

Para definir os parâmetros climáticos ( $X$ ) relativos a um local específico, é necessário considerar os valores de referência ( $X_{REF}$ ) para cada NUTS III e adaptá-los baseado na altitude da localização em questão ( $z$ ). De acordo com a Equação 5, as correções de altitude são de forma linear, com declive  $a$ , sendo proporcionais à diferença de altitude do local e a altitude de referência ( $z_{REF}$ ) para a NUTS III [48].

$$X = X_{REF} + a \times (z - z_{REF}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- $X$  = Parâmetro climático a corrigir;
- $X_{REF}$  = Parâmetro climático à cota de referência;
- $a$  = Declive que relaciona a diferença de altitudes [mês/km] ou [°C/km];
- $z$  = Altitude do edifício [km];
- $z_{REF}$  = Altitude de referência [km].

Para a avaliação do DEE na estação de aquecimento, é necessário considerar os parâmetros climáticos de acordo com os valores de referência da respectiva NUTS III, presentes na Tabela 9 do capítulo 5 do Manual SCE (Anexo I). Através das informações da Tabela 9 é possível definir os fatores descritos abaixo, porém, para esse estudo será considerado apenas o valor referente a  $GD$  [48]:

- $GD$  = Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 °C [°C];
- $M$  = Duração da estação de aquecimento [meses];

- $\theta_{ext,i}$  = Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];
- $G_{sul}$  = Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.mês)].

Para a avaliação do DEE na estação de arrefecimento, é necessário considerar os parâmetros climáticos de acordo com os valores de referência da respectiva NUTS III, presentes na Tabela 10 do capítulo 5 do Manual SCE (Anexo I). Através das informações da Tabela 10 é possível definir os fatores descritos abaixo, porém, para esse estudo será considerado apenas o valor referente a  $\theta_{ext,v}$  [48]:

- $\theta_{ext,v}$  = Temperatura exterior média na estação de arrefecimento [°C];
- $G_{sol}$  = Energia solar média incidente numa superfície horizontal (0°) ou vertical (90°), acumulada durante a estação de arrefecimento [kWh/m<sup>2</sup>].

A partir de uma zona climática definida, podendo ser de inverno I1, I2 ou I3 e verão V1, V2 ou V3, alguns critérios são estabelecidos a fim de regulamentar os requisitos mínimos de desempenho energético referente à envolvente opaca (paredes, coberturas e pavimentos) dos edifícios. A Portaria n.º 138-I/2021 de 01 de julho de 2021, denominada de Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação que *“regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas [50]”*, define que o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação e de comércio e serviços, novos ou renovados, não pode ser superior aos valores indicados no Quadro 11 [50].

**Quadro 11 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação, Portugal Continental,  $U_{m\acute{a}x}$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ].**

| Portugal Continental          |             |                                       | Zona Climática |      |      |
|-------------------------------|-------------|---------------------------------------|----------------|------|------|
| Tipo de elemento              |             | Condição de fronteira                 | I1             | I2   | I3   |
| Zona corrente e da envolvente | Verticais   | Exterior ou interior com $bztu > 0,7$ | 0,50           | 0,40 | 0,35 |
|                               |             | Interior com $bztu \leq 0,7$          | 2,00           | 2,00 | 1,90 |
|                               | Horizontais | Exterior ou interior com $bztu > 0,7$ | 0,40           | 0,35 | 0,30 |
|                               |             | Interior com $bztu \leq 0,7$          | 1,65           | 1,30 | 1,20 |
| Zona de PTP                   | Verticais   | Exterior                              | 0,90           |      |      |
|                               |             | Interior com $bztu > 0,7$             | 1,75           | 1,60 | 1,45 |
|                               |             | Interior com $bztu \leq 0,7$          | 2,00           | 2,00 | 1,90 |
|                               | Horizontais | Exterior                              | 0,90           |      |      |
|                               |             | Interior com $bztu > 0,7$             | 1,25           | 1,00 | 0,90 |
|                               |             | Interior com $bztu \leq 0,7$          | 1,65           | 1,30 | 1,20 |

Fonte: Portaria n.º 138-I/2021 [50].

Em suma, o Quadro 11 estabelece valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma envolvente opaca de acordo com a classificação da zona climática em que a edificação se encontra, garantindo o conforto térmico da construção.

Para exemplificar, será considerado avaliar uma edificação localizada em uma zona climática do tipo I3. Para essa zona climática temos que o elemento de zona corrente da envolvente no sentido vertical, ou seja, a parede vertical, em posição exterior, apresenta um valor máximo de coeficiente de transmissão térmica  $U_{m\acute{a}x} = 0,35$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]. Isto significa que, o U da solução construtiva de parede exterior, considerando todos os materiais que à constiuem, não pode ultrapassar o valor de  $U = 0,35$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ], e isso certifica que a parede exterior será eficiente termicamente para a edificação localizada em uma região de zona climática I3. Além disso, esse parâmetro auxilia no momento da escolha dos materiais de isolamento adequados para satisfazer o conforto da edificação nas diferentes regiões de Portugal Continental.

Para o presente estudo não será considerado analisar os outros parâmetros estabelecidos nos demais capítulos do Manual SCE, e também não será calculado os valores de bztu presentes no Quadro 11, pois o estudo aborda apenas a avaliação de soluções construtivas para uma parede exterior e não contempla a avaliação de uma edificação como um todo. Apenas será considerado o capítulo 5 do Manual SCE pois foi estabelecido avaliar opções construtivas no âmbito da sustentabilidade, respeitando os critérios de conforto térmico para uma região escolhida, o que envolve diretamente a determinação de um U máximo para as soluções em estudo.

### 2.3.2 Sistemas construtivos com isolamento térmico

Os sistemas construtivos de parede exterior estão constantemente em evolução, a nível de tecnologias, desenvolvimento de novos materiais e cumprimento de condições funcionais e ambientais. As exigências regulamentares para construções novas e de reabilitação buscam atender as necessidades de conforto higrotérmico associados ao consumo energético e proteção ambiental. Os edifícios precisam se tornar cada vez mais energeticamente autossuficientes e, ao longo de sua vida útil, não devem causar impactos adversos no ambiente ao seu redor [51].

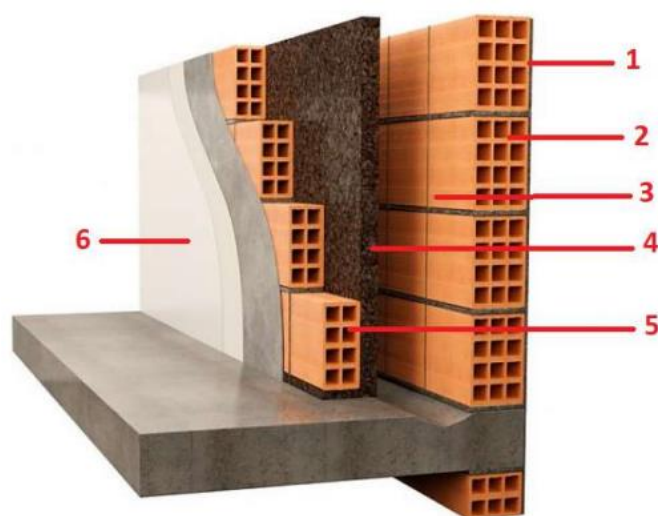
Esta dissertação irá abordar alguns sistemas construtivos de isolamento térmico para a parede exterior, como o sistema de parede dupla, o sistema de parede simples com ETICS e o sistema de alvenaria simples em bloco térmico do fabricante Artebel.

#### 2.3.2.1 Sistema de parede dupla

O sistema construtivo de alvenaria de parede dupla, para a envolvente exterior, foi o sistema mais utilizado em Portugal no final do século passado e ainda é muito conhecido. Aos poucos ele foi substituído pelo sistema de

alvenaria simples com isolamento pelo exterior (ETICS), por ser um método mais simples de implementação e com custos mais baixos [46].

O principal objetivo do sistema de parede dupla é melhorar o desempenho térmico e acústico da estrutura, proporcionando maior conforto aos ocupantes [44]. Seu esquema construtivo envolve dois panos verticais, sendo que um pano fica situado do lado interior da edificação e o outro do lado exterior, e podem ser formados por alvenaria de tijolo cerâmico ou bloco de betão, separados por uma caixa-de-ar. A fachada exterior deve ser mais espessa, pois deve combater eventuais expansões térmicas ou hidrófugas. A caixa-de-ar deve ser drenada por uma caleira com tubos para a saída de água na parte inferior e possuir ventilação por tubos na parte superior. Para alcançar um isolamento mais eficiente tanto térmico quanto acústico, é possível preencher totalmente ou parcialmente a caixa-de-ar com um material isolante, o que ajuda a reduzir a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício (Figura 7) [52].



**Figura 7 – Sistema construtivo de parede dupla.**  
Fonte: da Silva Oliveira, 2023 [46].

Onde [46]:

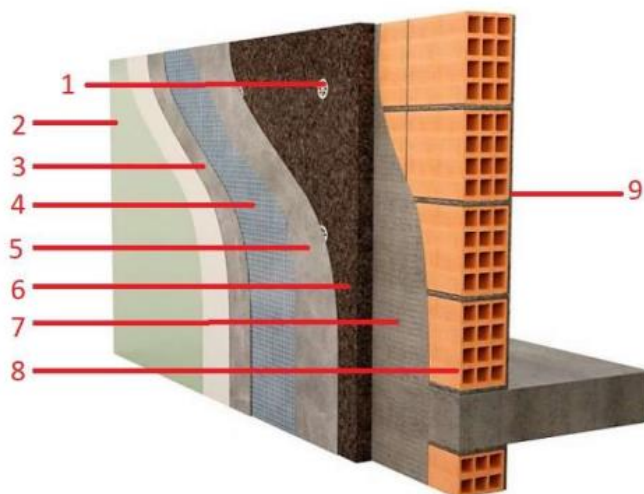
1. Revestimento exterior aderente (reboco, pedra, etc);
2. Pano exterior de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão;

3. Espaço de ar com drenagem;
4. Isolamento térmico fixado ao pano interior;
5. Pano interior de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão;
6. Revestimento interior (reboco, estuque, placas de gesso, de madeira, pedra, etc).

#### 2.3.2.2 Sistema ETICS com alvenaria simples

O Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) é uma solução amplamente utilizado no mercado português. Isso se deve à sua capacidade de reduzir os custos de construção, pois geralmente envolve a aplicação de apenas uma parede em alvenaria de maior espessura. Além disso, o sistema demonstra eficácia ao atender às exigências de desempenho térmico de edifícios ao isolar suas paredes externamente [46].

O processo construtivo desse método envolve a preparação da superfície, aplicação de uma camada de isolamento térmico, onde sua espessura é determinada de acordo com os requisitos de isolamento desejados, fixação mecânica ou colagem do isolamento, reforço com malha de fibra de vidro, para resistência estrutural, e aplicação de um revestimento final para proteção e acabamento estético. Esse sistema proporciona benefícios significativos como a eficiência energética, ao evitar pontes térmicas e melhorar o isolamento térmico do edifício. Além disso, sua aplicação é viável em edifícios existentes sem impactar significativamente o espaço interior (Figura 8) [44].



**Figura 8 – Sistema construtivo ETICS.**  
 Fonte: da Silva Oliveira, 2023 [46].

Onde [46]:

1. Fixação mecânica pontual (eventual/opcional);
2. Argamassa de acabamento (final/opcional acrílica);
3. Argamassa de revestimento;
4. Rede de fibra de vidro;
5. Argamassa de revestimento;
6. Isolamento térmico;
7. Argamassa de colagem;
8. Pano de alvenaria (de tijolo, blocos ou de pedra) ou parede de betão;
9. Revestimento interior (reboco, estuque, placas de gesso, pedra, etc).

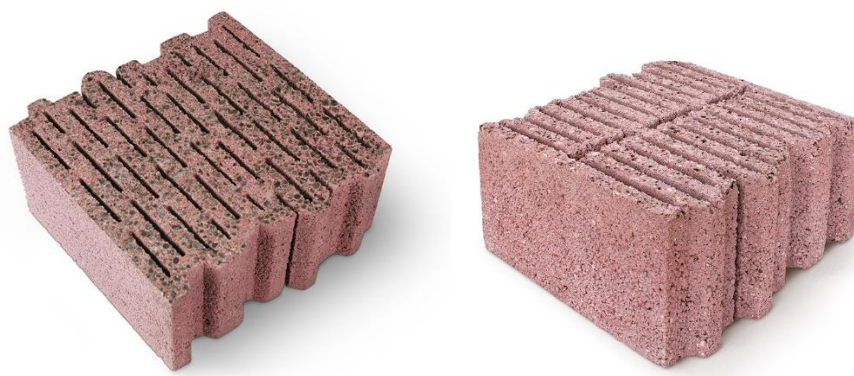
### 2.3.2.3 Sistema de alvenaria de bloco térmico

A alvenaria é uma técnica construtiva antiga que apresenta vários tipos de materiais e soluções. Essa diversidade proporciona o cumprimento de diferentes exigências funcionais nas suas tipologias, como resistência mecânica, impermeabilidade à água, isolamento térmico e acústico, estabilidade,

resistência ao fogo e durabilidade. Essa técnica está em constante evolução em busca de proporcionar cada vez mais condições melhores de eficiência e conforto às edificações [53].

O bloco térmico é um exemplo dessa evolução e o presente estudo vai abordar dois tipos específicos de bloco térmico desenvolvidos pelo fabricante Artebel, sendo estes o bloco megatérmico e o bloco termoacústico (Anexo II). Ambos são formados por betão leve de argila expandida e integram o sistema construtivo de alvenaria simples com características de elevado desempenho térmico e acústico [54].

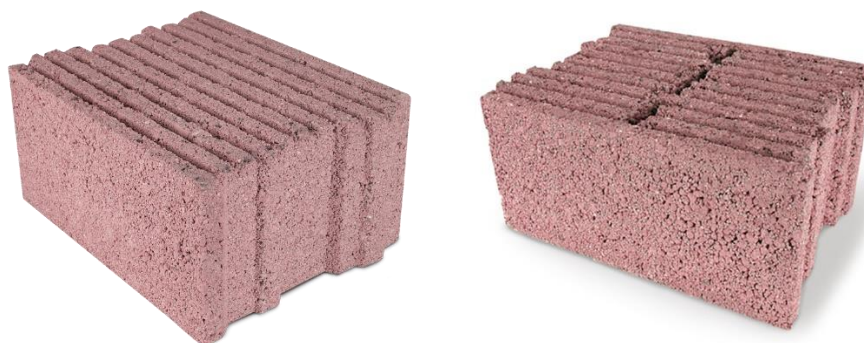
O bloco megatérmico (Figura 9) é constituído por 13 paredes longitudinais separadas entre si por micro caixas-de-ar. É o único bloco formado por 6 encaixes que proporcionam ao material um coeficiente de transmissão térmica reduzido devido ao tipo de betão utilizado na sua composição, nas suas dimensões e distribuições. Este modelo também apresenta uma inércia térmica elevada, ou seja, não sofre bruscas alterações de temperatura, além de cumprir com os índices de isolamento sonoro e apresentar uma capacidade de respiração, evitando humidade nas habitações [54].



**Figura 9 – Bloco megatérmico Artebel.**  
Fonte: Artebel, 2021 [54].

O bloco termoacústico (Figura 10) é constituído por 11 paredes longitudinais separadas entre si por micro caixas-de-ar que proporcionam um coeficiente de transmissão térmica reduzido devido ao tipo de betão utilizado na

sua composição, as suas dimensões e distribuições. Este modelo também apresenta uma inércia térmica elevada, ou seja, não sofre bruscas alterações de temperatura, além de cumprir com os índices de isolamento sonoro e apresentar uma capacidade de respiração, evitando humidade nas habitações [54].



**Figura 10 – Bloco termoacústico Artebel.**

Fonte: Artebel, 2021 [54].

Ambos são muito semelhantes, mas existem algumas variações em seus formatos, dimensões e no seu comportamento térmico. Enquanto o bloco megatérmico apresenta dimensões de 35x19x38 cm (comprimento x altura x largura) e um coeficiente de transmissão térmica  $U = 0,41 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$  o bloco termoacústico apresenta dimensões de 40x19x31,5 cm (comprimento x altura x largura) e um coeficiente de transmissão térmica  $U = 0,51 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$  [54], sendo essas diferenças apresentadas no decorrer do estudo desta dissertação.

### 2.3.3 Materiais de isolamento térmico

O objetivo principal dos materiais isolantes térmicos é dificultar as transferências de calor entre dois meios, atuando como uma barreira que reduz as perdas e ganhos de calor que, de outra forma, resultariam na equalização das temperaturas em ambos os espaços. Diversos tipos de isolantes térmicos estão disponíveis para serem utilizados na composição de envoltivos opacos na construção civil, como, por exemplo, nas paredes de alvenaria exterior [55].

Esta dissertação irá abordar os materiais de isolamento térmico em EPS, ou poliestireno expandido moldado, lã de rocha, ICB, ou aglomerado de cortiça expandida e a argamassa térmica.

### 2.3.3.1 Poliestireno expandido moldado (EPS)

O Poliestireno Expandido Moldado (Figura 11) é identificado internacionalmente pela sigla EPS e é classificado como um termoplástico celular rígido de acordo com a norma ISO-1043/78. O termoplástico é um tipo de plástico que pode ser aquecido e moldado repetidamente sem sofrer degradação significativa das propriedades, o que torna o EPS adequado para várias aplicações [56].

O EPS é muitas vezes conhecido pelo nome comercial "isopor" ou "esferovite" e é de fato um material resultante da polimerização do estireno. Suas características de baixa densidade e baixa condutividade térmica são devidas às suas propriedades celulares únicas. O EPS é composto por pequenas esferas de poliestireno que são expandidas durante o processo de fabricação. Essas esferas consistem principalmente em ar (cerca de 98%) e uma pequena porcentagem de poliestireno (cerca de 2%) [57].

Devido à alta proporção de ar em sua estrutura, o EPS é um excelente isolante térmico. Ele funciona criando barreiras eficazes para a transferência de calor, o que o torna amplamente utilizado em aplicações de isolamento, como em construção civil, embalagens e muitas outras áreas onde a resistência térmica é desejada. Além de suas propriedades isolantes, o EPS também é leve, durável, resistente à umidade e fácil de moldar, o que o torna um material versátil para uma variedade de aplicações [58].



**Figura 11 – Poliestireno Expandido Moldado (EPS).**

Fonte: Sistemas ETICS, 2023 [59].

### 2.3.3.2 Lã de rocha

A lã de rocha (Figura 12) é um material composto por fibras, que podem ou não conter um agente aglutinante. Esse material é amplamente utilizado nos setores de construção civil, indústria, automotivo, eletroeletrônico, entre outros, devido a sua notável propriedade de isolamento térmico, isolamento acústico, resistência a incêndios, neutralidade química e capacidade de resistência à água [60].

Esta lã é proveniente de fibras minerais de rochas vulcânicas, suas características apresentam baixa condutividade térmica, suportam altas temperaturas e alta absorção acústica [61]. Oferecem versatilidade na sua modelagem para uma ampla variedade de aplicações. Sua elasticidade permite que sejam comprimidas, reduzindo o volume, tornando o armazenamento, transporte e manuseio mais econômicos e convenientes. Esses materiais fazem parte da categoria das lãs minerais, que consistem em isolantes inorgânicos fabricados a partir de fibras [62].

Este isolante apresenta uma ampla gama de aplicações, sendo frequentemente utilizado em ambientes internos, tais como paredes e forros, bem como em coberturas, fachadas e pavimentos. Além disso, devido às suas propriedades de resistência ao fogo, as lãs de rocha são empregadas como proteção contra incêndios e na criação de barreiras corta-fogo. Elas também são

usadas para melhorar o isolamento acústico em edifícios e em construções específicas, como frigoríficos. Suas propriedades versáteis fazem com que as lãs de rocha sejam aplicadas em diversas áreas, proporcionando benefícios em diferentes contextos [63].

Quando se utiliza este material como isolante acústico ou térmico, é importante considerar o desgaste natural que ele sofre ao longo do tempo. Para compensar esse desgaste e garantir que o material mantenha suas propriedades térmicas e acústicas desejadas, muitas vezes é necessário aumentar a sua espessura. Os desgastes podem ocorrer devido à variação de temperatura entre o interior e o exterior do ambiente, bem como devido a impactos aos quais o material é submetido. Portanto, o dimensionamento adequado da espessura do isolante é essencial para manter o desempenho ao longo do tempo [64].



**Figura 12 – Lã de rocha.**  
Fonte: Termolan, 2016 [65].

#### 2.3.3.3 Aglomerado de cortiça expandida (ICB)

O Aglomerado de Cortiça Expandida, também conhecido internacionalmente como “*Insulation Cork Board*” ou “ICB” (Figura 13), é um produto de origem vegetal. Ele é composto por um agregado de células com paredes quádruplas, onde duas delas são completamente impermeáveis. Essa composição confere ao material características como leveza, elasticidade e

impermeabilidade a gases e líquidos e proporcionam propriedades com capacidades isolantes eficazes contra calor, frio, som e vibrações [66].

Este material é derivado da cortiça, que é a casca do sobreiro (*Quercus suber*), uma árvore predominante em regiões do Mediterrâneo, incluindo Portugal e Espanha. Muito antigamente, os Romanos atribuíram à cortiça diversos usos, como a criação de colmeias e o vedamento de ânforas, reconhecendo suas propriedades como um material eficaz de isolamento térmico, além de registros do uso da cortiça tanto para vedar recipientes de vinho quanto para outros fins, destacando suas qualidades como material de vedação [51].

Portugal é o maior produtor de cortiça no mundo. O país é conhecido pela qualidade e quantidade significativa de cortiça que produz. A cortiça é uma parte importante da indústria portuguesa, com a maior parte das plantações de sobreiros, localizada principalmente no sul do país [67].

A colheita desse material acontece de forma sustentável, geralmente a cada nove anos, sem prejudicar a árvore. O processo de fabricação do ICB envolve a expansão da cortiça por meio de calor e vapor, resultando em um material leve, elástico e com propriedades isolantes. O ICB é utilizado como isolante térmico em construções, proporcionando eficiência energética e contribuindo para práticas sustentáveis de construção [51]. Também se apresenta como um material de instalação simples, oferecendo um alto desempenho na correção acústica, especialmente em relação a ruídos de impacto, uma característica verificada em diversos testes laboratoriais [66].



**Figura 13 – Aglomerado de cortiça expandida (ICB).**  
Fonte: Soluções acústicas, 2022 [68].

#### 2.3.3.4 Argamassa térmica

A argamassa de reboco térmico é um tipo de argamassa formulada para proporcionar propriedades de isolamento térmico quando aplicada em superfícies externas ou internas de edifícios. Geralmente, ela é composta por ligantes mistos, agregados de baixa densidade, como poliestireno expandido, e aditivos. A cor branca é comum nesse tipo de argamassa [53].

Sua aplicação é destinada a rebocos exteriores e interiores, contribuindo para melhorar a eficiência térmica do edifício. O processo de preparação envolve a adição de água para formar uma pasta que é aplicada sobre suportes como alvenaria de tijolo, blocos de cimento ou betão. Essa argamassa pode ser parte de sistemas de revestimento isolante que auxiliam no tratamento térmico das paredes, utilizando uma ou duas camadas de material. Além disso, em alguns casos, pode ser utilizada como betonilha aligeirada para preenchimento de pavimentos [53].

O presente estudo vai abordar um tipo específico de argamassa térmica desenvolvida pelo fabricante do grupo Secil (Figura 14), conhecida por Isodur One (Anexo III). Ela é uma argamassa seca, formada por ligantes mistos e agregados de baixa densidade, como o EPS, e é utilizada como rebocos

exteriores e interiores com função térmica, desenvolvido para ser aplicado através de métodos de projeção [69].



**Figura 14 – Argamassa térmica Secil.**

Fonte: Secil, 2023 [69].

## 2.4 Metodologia MARS-SC

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) foi desenvolvida pelo Professor Ricardo Mateus da Universidade do Minho [27]. Seu objetivo é avaliar a sustentabilidade de materiais e soluções construtivas, facilitando a avaliação de diversos parâmetros que abrangem as dimensões sustentáveis, são eles: ambiental, económica e funcional [8].

Para analisar os parâmetros de sustentabilidade é necessário considerar que diferentes parâmetros são expressos em diferentes unidades de medidas e apresentam diferentes características. Diante disso, torna-se necessário normalizar os parâmetros estudados, a fim de encontrar um valor adimensional, variando de 0 a 1, que permite a comparação entre os diferentes parâmetros medidos em unidades funcionais distintas e caracteriza o desempenho de uma solução ao nível de cada parâmetro [70]. Essa normalização deve ser realizada através da Equação 6 [71].

$$\bar{P}i = \frac{Pi - P_*i}{P^*i - P_*i} \quad \text{Equação 6}$$

Onde [71]:

- $Pi$  = valor do parâmetro  $i$ ;
- $P_*i$  = valor do desempenho da pior solução para o parâmetro  $i$ ;
- $P^*i$  = valor do desempenho da melhor solução para o parâmetro  $i$ ;

Após a normalização os valores são convertidos para uma escala adimensional onde o resultado igual a 0 representa o pior valor e o resultado igual a 1 representa o melhor valor [71].

A fim de obter um parâmetro que leve em consideração todos as dimensões sustentáveis (ambiental, económica e funcional), torna-se necessário encontrar o nível de sustentabilidade global das soluções seguindo um nível de ponderação para cada índice [27]. Segundo Mateus (2009) e Pereira (2015), o peso estabelecido para cada parâmetro não é consensual, visto que ele varia entre as diferentes metodologias de análises da construção sustentável [71] [72].

O nível de sustentabilidade global deve ser encontrado através da Equação 7 [27].

$$Ns = \sum Wi \times \bar{P}i \quad \text{Equação 7}$$

Onde [27]:

- $Ns$  = nível de sustentabilidade da solução;
- $Wi$  = peso atribuído ao parâmetro  $i$ ;
- $\bar{P}i$  = valor do desempenho normalizado do parâmetro  $i$  [0-1].

## 3 Metodologia de investigação

### 3.1 Contexto

Método é um caminho em busca de um objetivo. Metodologia é o estudo desse método, ou seja, é a organização do conjunto de métodos utilizados para realizar um estudo, sendo um processo dinâmico e flexível [73]. A investigação é um processo sistemático em busca por conhecimento ou solução para um problema específico. Ela envolve as etapas de: tema, problemática, objetivos, metodologia, análise dos resultados e conclusões. Existem diferentes tipos de abordagem para um processo investigativo, podendo ser de forma quantitativa ou qualitativa, pura ou aplicada, teórica ou prática, entre outros [10].

De acordo com *Fellow e Liu (2021)* o presente estudo pode ser considerado como uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento direcionado à solução de problemas práticos específicos, adotando conceitos de sustentabilidade e desempenho térmico, de modo a encontrar soluções que contribuam para as escolhas construtivas [74].

Esta pesquisa também possui natureza quantitativa, pois se concentra na coleta e análise de dados de impactos ambientais, quantificando a utilização de materiais sustentáveis e termicamente eficientes em diferentes soluções construtivas, através da avaliação dos índices de sustentabilidade. Nesse tipo de estudo, são utilizados métodos estatísticos para analisar os dados e obter conclusões objetivas [75].

O objetivo deste estudo é comparar soluções construtivas que sejam detentoras de pressupostos de maior sustentabilidade e que sejam termicamente eficientes. Para alcançar este objetivo primeiramente foi realizado a exploração de diversos processos construtivos a fim de encontrar técnicas viáveis e usuais para compor os objetos deste estudo. Com essa investigação, foi definido avaliar a fase construtiva de parede exterior, ou seja, foram selecionados métodos construtivos no âmbito de possíveis soluções para uma determinada envolvente exterior e que pudessem ser analisados, priorizando materiais e métodos identificados como bons isolantes térmicos, frente à

importância do isolamento térmico nas construções e a valorização da eficiência energética das edificações, buscando proporcionar conforto aos usuários e zelo pelo meio ambiente. Com isso, os métodos escolhidos foram: sistema construtivo de parede dupla, sistema construtivo ETICS e sistema construtivo de alvenaria com bloco térmico.

Com os objetos de análise definidos, foram aplicadas variações construtivas dentro de cada sistema, alternando as espessuras dos tijolos utilizados e os tipos de isolamento térmico presente na constituição das paredes a fim de cumprimento dos requisitos regulamentares e de encontrar qual das soluções alcançará o melhor nível de sustentabilidade global.

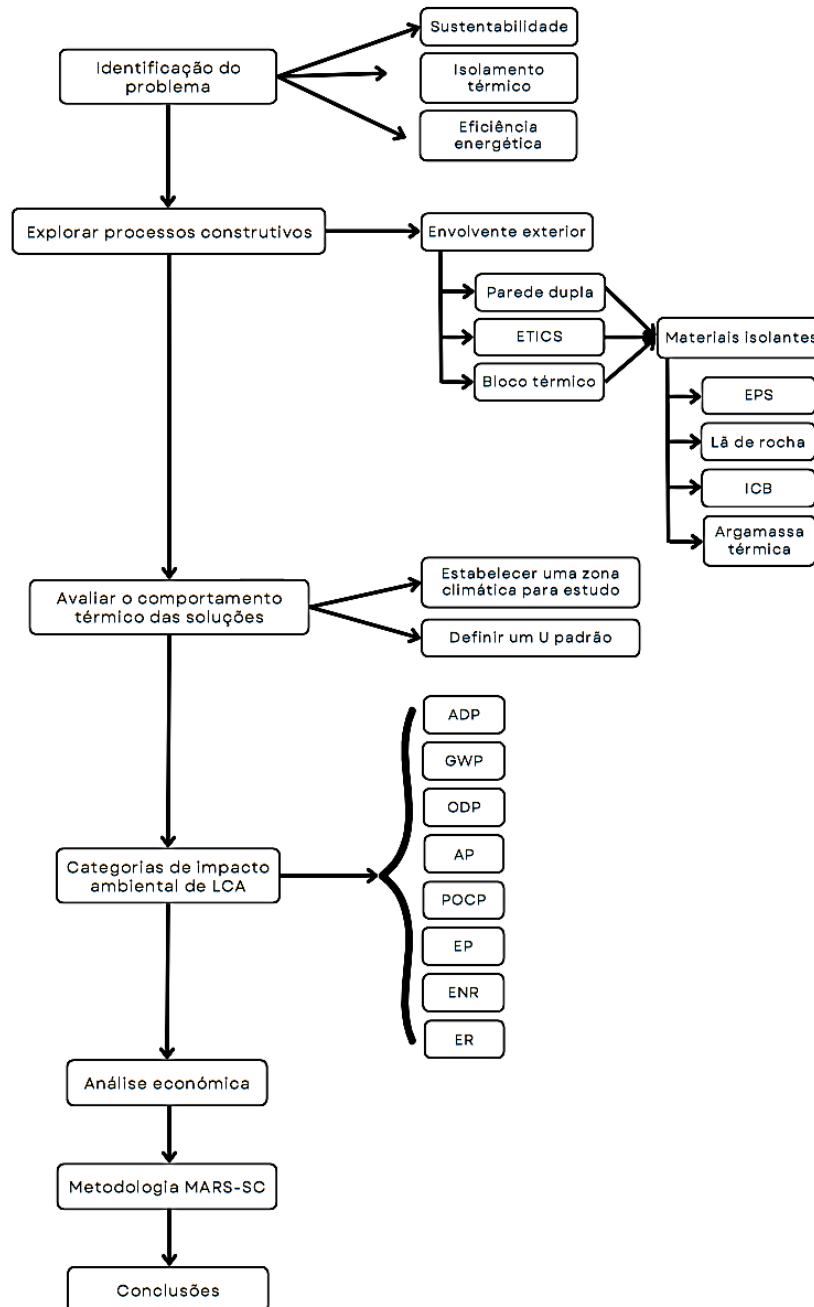
Diante dessas definições, foi avaliado o comportamento térmico das soluções através dos critérios estabelecido pela norma EN ISO 6946 [47], pelo Manual SCE [48] e pela Portaria n.º 138-I/2021 de 01 de julho de 2021 [50] para a zona climática de Bragança, norte de Portugal, seguindo os cálculos do capítulo 5 do Manual SCE [48] (Anexo I), caracterizando a localização, entorno e clima de Bragança e definindo que o coeficiente de transmissão térmica máximo ( $U_{máx}$ ) desta zona será padrão para todas as soluções. Com essa premissa, no momento de formar a constituição das paredes, as espessuras dos materiais variaram a fim de satisfazer o  $U_{máx}$  padrão, tornando as soluções aptas para a análise de impactos ambientais dos materiais.

Para a análise de impacto ambiental das soluções foi utilizado os índices de impactos ambientais presentes no livro "*Life-cycle analysis of buildings - Environmental impact of Building elements*" (Análise do ciclo de vida dos edifícios - Impacto ambiental dos elementos construtivos) de Luís Bragança e Ricardo Mateus [25] e os dados fornecidos pelo fabricante dos blocos térmicos Artebel [54], considerando a fase do ciclo de vida "cradle-to-gate" (do berço ao portão) para os materiais.

A fim de satisfazer os critérios da sustentabilidade global das soluções que abrange as dimensões ambientais, funcionais e económicas, foi realizado a análise económica dos materiais com base na ferramenta informática Gerador de Preços de Portugal, que permitiu precificar em euros as soluções propostas.

Por fim, foi realizado a normalização de todos os parâmetros encontrados com base na metodologia MARS-SC e calculado o nível de sustentabilidade global das soluções, classificando e destacando as 3 soluções mais sustentáveis de entre as 25 estudadas.

Para a metodologia adotada neste estudo segue o esquema da Figura 15 a seguir.



**Figura 15 – Fluxograma da metodologia de investigação.**

Fonte: O autor.

## 3.2 Estudo comparativo

### 3.2.1 Objetos de estudo

Para a realização desse estudo comparativo, após a exploração de diversos processos construtivos, foi escolhido avaliar a etapa construtiva da parede exterior e, a partir disso, definir as soluções objetos da análise. De entre várias opções existentes, foram escolhidos 3 sistemas construtivos usuais em Portugal, identificados como bons isolantes térmicos, sendo estes: o sistema de parede dupla (A), o sistema ETICS com parede simples (B) e o sistema de alvenaria em bloco térmico (C) do fabricante Artebel. Dentro de cada sistema foi realizado variações de materiais na constituição das camadas, alterando a estrutura com diferentes espessuras de tijolos, como 22, 15 e 11 centímetros, alterando o tipo de isolamento térmico, como EPS, lã de rocha, ICB e argamassa térmica e modificando, também, a tipologia do bloco térmico desenvolvido pelo fabricante.

Ao todo, foram estabelecidas 25 configurações diferentes de parede exterior. Dentre elas, 9 são composições elaboradas com base no sistema A, 6 são elaboradas com base no sistema B e 10 são formadas pelo sistema C. Nos Quadros 12, 13 e 14 será apresentado um panorama geral das diferentes soluções construtivas estabelecidas como objetos de estudo para a envolvente exterior e em seguida a constituição das camadas serão detalhadas em cada cenário.

**Quadro 12 – Definições construtivas para o sistema de parede dupla (solução A).**

| <b>Sistema</b>     | <b>Estrutura</b>           | <b>Material isolante</b> | <b>Nomenclatura</b> |
|--------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|
| A.<br>Parede dupla | 1. Tijolo:<br>22 cm + 11cm | a. EPS                   | A.1.a               |
|                    |                            | b. Lã de rocha           | A.1.b               |
|                    |                            | c. ICB                   | A.1.c               |
|                    | 2. Tijolo:<br>15 cm + 11cm | a. EPS                   | A.2.a               |
|                    |                            | b. Lã de rocha           | A.2.b               |
|                    |                            | c. ICB                   | A.2.c               |
|                    | 3. Tijolo:<br>11 cm + 11cm | a. EPS                   | A.3.a               |
|                    |                            | b. Lã de rocha           | A.3.b               |
|                    |                            | c. ICB                   | A.3.c               |

Fonte: O autor.

**Quadro 13 – Definições construtivas para o sistema ETICS (solução B).**

| <b>Sistema</b> | <b>Estrutura</b> | <b>Material isolante</b> | <b>Nomenclatura</b> |
|----------------|------------------|--------------------------|---------------------|
| B.<br>ETICS    | 1. Tijolo: 22 cm | a. EPS                   | B.1.a               |
|                |                  | b. Lã de rocha           | B.1.b               |
|                |                  | c. ICB                   | B.1.c               |
|                | 2. Tijolo: 15 cm | a. EPS                   | B.2.a               |
|                |                  | b. Lã de rocha           | B.2.b               |
|                |                  | c. ICB                   | B.2.c               |

Fonte: O autor.

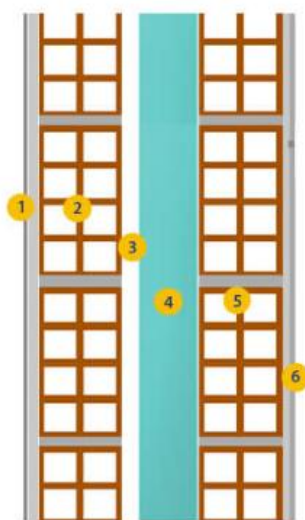
**Quadro 14 – Definições construtivas para o sistema com bloco térmico (solução C).**

| <b>Sistema</b>                 | <b>Estrutura</b>           | <b>Material isolante</b> | <b>Nomenclatura</b> |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|
| C.<br>Bloco térmico<br>Artebel | 1. Bloco:<br>Megatérmico   | a. EPS                   | C.1.a               |
|                                |                            | b. Lã de rocha           | C.1.b               |
|                                |                            | c. ICB                   | C.1.c               |
|                                |                            | d. Reboco tradicional    | C.1.d               |
|                                |                            | e. Reboco térmico        | C.1.e               |
|                                | 2. Bloco:<br>Termoacústico | a. EPS                   | C.2.a               |
|                                |                            | b. Lã de rocha           | C.2.b               |
|                                |                            | c. ICB                   | C.2.c               |
|                                |                            | d. Reboco tradicional    | C.2.d               |
|                                |                            | e. Reboco térmico        | C.2.e               |

Fonte: O autor.

### 3.2.1.1 Solução A: sistema construtivo de parede dupla

Conforme descrito no capítulo 2.3.2.1, o sistema construtivo de parede dupla segue o formato ilustrado na Figura 16. A seguir será detalhado a constituição de cada uma das 9 configurações diferentes adotados para esse sistema, onde cada solução varia de acordo com a espessura do tijolo do pano exterior e o tipo de isolamento térmico.



**Figura 16 – Constituição das camadas da parede dupla.**  
Fonte: Fibran, 2023 [76].

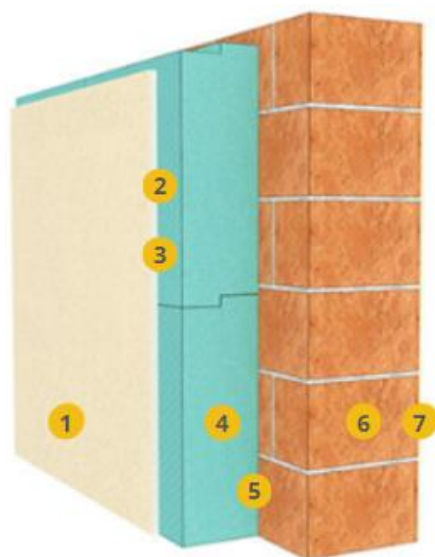
- **Solução A.1.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 22 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.

- **Solução A.1.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 22 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.1.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 22 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.2.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 15 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.2.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 15 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.

- **Solução A.2.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 15 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.3.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 11 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.3.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 11 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução A.3.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Tijolo exterior de 11 cm;
  3. Caixa de ar;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Tijolo interior de 11 cm;
  6. Argamassa de reboco interior.

### 3.2.1.2 Solução B: sistema construtivo ETICS

Conforme descrito no capítulo 2.3.2.2, o sistema construtivo de parede ETICS segue o formato ilustrado na Figura 17. A seguir será detalhado a constituição de cada uma das 6 configurações diferentes adotados para esse sistema, onde cada solução varia de acordo com a espessura do tijolo e o tipo de isolamento térmico.



**Figura 17 – Constituição das camadas da parede ETICS.**

Fonte: Adaptado de Fibran, 2023 [76].

- **Solução B.1.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 22cm;
  7. Argamassa de reboco interior.

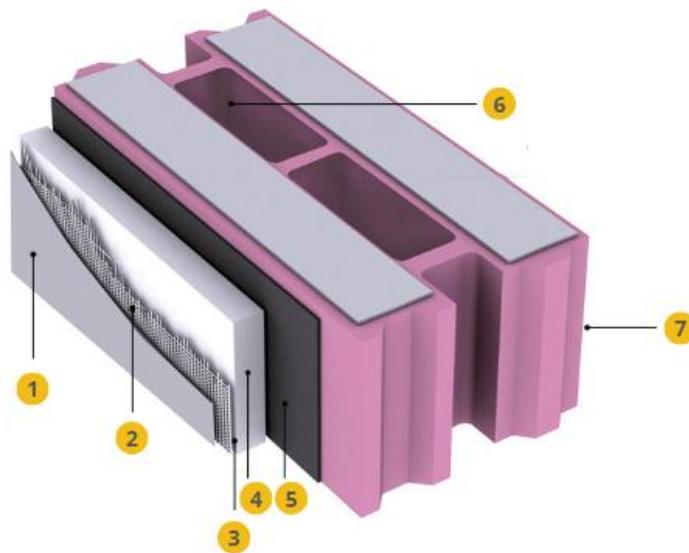
- **Solução B.1.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 22cm;
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução B.1.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 22cm;
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução B.2.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 15cm;
  7. Argamassa de reboco interior.

- **Solução B.2.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 15cm;
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução B.2.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Tijolo de 15cm;
  7. Argamassa de reboco interior.

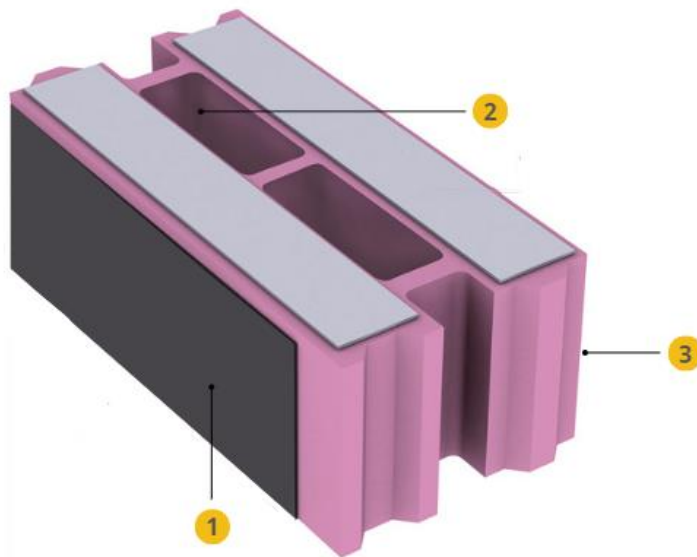
### 3.2.1.3 Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico

Conforme descrito no capítulo 2.3.2.3, o sistema construtivo de alvenaria de bloco térmico segue os formatos ilustrados nas Figura 18 e 19. A seguir será detalhado a constituição de cada uma das 10 configurações diferentes adotados para esse sistema, onde 6 seguem o fomato ETICS (Figura 18) e 4 seguem o formato de alvenaria simples (Figura 19), para que seja permitido avaliar o desempenho do bloco térmico fora do sistema ETICS.

São considerados dois tipos de blocos térmicos do fabricante Artebel, o bloco térmico megatérmico e o bloco termoacústico e as soluções irão variar também de acordo com as opções de isolamento térmico.



**Figura 18 – Constituição das camadas da parede com bloco térmico no formato ETICS (C.1.a; C.1.b; C.1.c; C.2.a; C.2.b; C.2.c).**  
 Fonte: Adaptado de Artebel, 2023 [54].



**Figura 19 – Constituição das camadas da parede com bloco térmico no formato simples (C.1.d; C.1.e; C.2.d; C.2.e).**  
 Fonte: Adaptado de Artebel, 2023 [54].

- **Solução C.1.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco megatérmico Artebel (espessura 38cm);
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução C.1.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco megatérmico Artebel (espessura 38cm);
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução C.1.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco megatérmico Artebel (espessura 38cm);
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução C.1.d:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa tradicional de reboco exterior;
  2. Bloco megatérmico Artebel (espessura 38cm);
  3. Argamassa tradicional de reboco interior.

- **Solução C.1.e:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa térmica de reboco exterior Secil;
  2. Bloco megatérmico Artebel (espessura 38cm);
  3. Argamassa térmica de reboco interior Secil.
  
- **Solução C.2.a:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em EPS;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco termoacústico Artebel (espessura 31,5cm);
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução C.2.b:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em painel de lã de rocha;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco termoacústico Artebel (espessura 31,5cm);
  7. Argamassa de reboco interior.
  
- **Solução C.2.c:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa de reboco exterior;
  2. Rede de fibra de vidro;
  3. Argamassa de regularização;
  4. Isolamento térmico em ICB;
  5. Argamassa de colagem;
  6. Bloco termoacústico Artebel (espessura 31,5cm);
  7. Argamassa de reboco interior.

- **Solução C.2.d:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa tradicional de reboco exterior;
  2. Bloco termoacústico Artebel (espessura 31,5cm);
  3. Argamassa tradicional de reboco interior.
  
- **Solução C.2.e:** essa solução é constituída por:
  1. Argamassa térmica de reboco exterior Secil;
  2. Bloco termoacústico Artebel (espessura 31,5cm);
  3. Argamassa térmica de reboco interior Secil.

### 3.2.2 Análise térmica

A partir das soluções construtivas definidas é possível iniciar o estudo. A primeira análise realizada será a do comportamento térmico das soluções, com base na norma EN ISO 6946 [47], no capítulo 5 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (Anexo I) [48] e na Portaria n.º 138-I/2021 de 01 de julho de 2021 [50].

Seguindo o referencial bibliográfico, foi analisado o comportamento térmico das soluções levando em consideração a zona climática de Bragança, norte de Portugal, e para determinar o coeficiente de transmissão térmico máximo ( $U$ ) da envolvente exterior para essa zona, deve-se seguir a metodologia de estudo orientada pelo capítulo 5 do Manual SCE (Anexo I), caracterizando a localização, o entorno e o clima da região.

No âmbito da categoria de localização, foi coletado o valor da altitude da cidade de Bragança para desenvolver os próximos cálculos, porém não foi considerado a definição de coordenadas cartesianas nem a morada postal, visto que, para esse estudo, não foi considerado uma morada fixa e tais informações também não influenciam no desenvolvimento dos cálculos. Os parâmetros do entorno de Bragança foram definidos quanto a região do território, a rugosidade e classe de proteção da fachada.

Por fim, para a categoria de clima, baseado no Decreto-Lei n.º 68/2008, de 14 de abril, o município de Bragança foi classificado dentro da NUTS III na região de Alto Trás-os-Montes e, a partir disso, foi possível calcular o valor de graus-dias (*GD*) na estação de aquecimento e definir a classificação da zona climática de inverno e calcular o valor da temperatura média exterior ( $\theta_{ext,v}$ ) na estação convencional de arrefecimento e definir a classificação da zona climática de verão, através da Equação 5, apresentada no capítulo 2.3.1 dessa dissertação, e dos valores base fornecidos pelas Tabelas 9 e 10 do Manual SCE presentes no Anexo I.

Diante de todos esses parâmetros estabelecidos e da zona climática de inverno e verão definidas, foi possível identificar, através do Quadro 11 do capítulo 2.3.1 dessa dissertação, estabelecido pela Portaria n.º 138-I/2021 de 01 de julho de 2021, o valor máximo para o coeficiente de transmissão térmica ( $U_{máx}$ ) superficial de uma envolvente opaca para a zona climática de Bragança e estabelecer o valor de  $U_{máx}$  como critério padrão para todas as envolventes de estudo, permitindo que todas alcancem o mesmo comportamento térmico.

Seguindo essa premissa, todas as diferentes configurações de envolventes devem variar seus materiais e suas espessuras, a fim de atingir o  $U_{máx}$  padrão, através das Equações 3 e 4 do capítulo 2.3.1. Com isso foi possível verificar qual foi a espessura necessária de cada material de isolamento térmico, dentro da composição de materiais das soluções, para garantir o conforto térmico da envolvente.

### 3.2.3 Análise ambiental

Com as soluções definidas, as envolventes atingindo um comportamento térmico padrão e as espessuras dos isolamentos estabelecidas em cada cenário, o estudo segue para a análise ambiental, considerando os parâmetros de impactos ambientais na fase do ciclo de vida “Cradle-to-gate” (do berço ao portão). As categorias consideradas serão: ADP, GWP, ODP, AP, POCP, EP,

ENR e ER, fornecidas pelo livro “*Life-cycle analysis of buildings - Environmental impact of Building elements*” [25].

Como os valores fornecidos para as categorias de impactos ambientais são baseados na produção de 1kg de cada material, não se torna viável compará-los entre si, pois cada material da construção civil apresenta características próprias, como o peso específico e o coeficiente de resistência térmica (R) [27]. Sendo assim, torna-se necessário converter os valores de kg para m<sup>2</sup> e esse cálculo deve ser realizado através das Equações 1 e 2 do capítulo 2.1.4. Após isso é possível obter valores passíveis de comparação entre diferentes soluções construtivas.

### 3.2.4 Análise económica

Seguindo os objetivos desse estudo, após a análise sustentável, será efetuado a análise económica das soluções. Será utilizado a ferramenta informática Gerador de Preços criada pelo CYPE Ingenieros [77]. Este software fornece informações de diversos tipos de materiais da construção civil apresentando os custos associados à execução por unidade, geralmente de 1m<sup>2</sup>, incluindo o valor da mão de obra, equipamentos e materiais necessários. Porém, é uma base de dados limitada e os valores podem sofrer algumas variações de acordo com os custos reais disponíveis no mercado.

Na Figura 20 é possível visualizar brevemente o layout da ferramenta e seu funcionamento.

| Unitário  | Ud | Descrição  | Rend.  | Preço unitário | Importância |
|---|----|--|--------|----------------|-------------|
| mt08aaa010a   | m³ | Água   | 0,007  | 1,50           | 0,01        |
| mt23mop210h   | kg | Argamassa de cimento, tipo CR CSIV V2, segundo EN 998-1, para utilização em interiores ou em exteriores, cor branca, composta por cimento de alta resistência, inertes seleccionados e outros aditivos, fornecida em sacos | 36,000 | 0,19           | 6,84        |
| mt27wvav020a  | m  | Fita adesiva de pintor, de 25 mm de largura  | 1,000  | 0,10           | 0,10        |
| mo039   | h  | Oficial de 1ª rebocador  | 0,590  | 22,29          | 13,15       |
| mo111   | h  | Operário especializado rebocador   | 0,276  | 21,97          | 6,06        |
|   |    | % Custos directos complementares   | 4,000  | 26,16          | 1,05        |
| Custo de manutenção decenal: 0,98€ nos primeiros 10 anos. |    |  |        |                |             |
|   |    |  |        | Total:         | 27,21       |

**Figura 20 – Gerador de preços Portugal.**  
Fonte: CYPE Ingenieros [77].

### 3.2.5 Normalização dos resultados

Por fim, será realizada a comparação dos resultados com base na Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, a fim de normalizar os parâmetros ambientais, térmicos e económicos das soluções através de uma escala adimensional, onde 0 diz respeito à pior solução e 1 à melhor [27]. Esta normalização é realizada através da Equação 6 do capítulo 2.4.

Após normalizar cada parâmetro estudado individualmente, será realizado o nível de sustentabilidade global das soluções, seguindo a ponderação utilizada pelo investigador Ricardo Mateus (2009) [71] para cada dimensão, presentes no Quadro 15.

**Quadro 15 – Peso de cada dimensão.**

| Dimensão         | Peso (%) |
|------------------|----------|
| Ambiental        | 40       |
| Social (térmica) | 30       |
| Económica        | 30       |

Fonte: Mateus, 2009 [71].

Tais pesos se baseiam não só na importância das questões ambientais para a preservação das gerações futuras, mas também na busca pelo equilíbrio harmônico entre as três dimensões do desenvolvimento sustentável. Além disso, foram influenciados por opiniões de especialistas acadêmicos e profissionais da construção [71].

Para realizar o cálculo do nível de sustentabilidade global e tornar viável a comparação dos parâmetros, será utilizado a Equação 7 do capítulo 2.4.

## 4 Resultados e discussões

### 4.1 Análise térmica

Nesse capítulo será apresentado os resultados de toda a análise do comportamento das soluções objetos de estudo, iniciando pela caracterização da localização, entorno e clima da região de Bragança.

De acordo com a Câmara Municipal [78], o município de Bragança possui 690 metros de altitude. Quanto aos parâmetros de entorno a cidade foi definida como: uma região do tipo B, visto que, é uma região com altitude superior a 600m; rugosidade do tipo II, uma vez que, os edifícios não se enquadram nas rugosidades I ou III; e possui a classificação desprotegida quanto a proteção da fachada, já que não existe informação referente ao entorno da edificação.

Em relação aos parâmetros de clima, considerando a NUTS III de Alto Trás-os-Montes, primeiramente foi calculado o número de graus-dias ( $GD$ ) através da Equação 5. Para esse parâmetro foi considerado a altitude do município ( $z$ ) em km, e os seguintes valores que foram coletados na Tabela 9 do Manual SCE (Anexo I): a altitude de referência ( $z_{REF}$ ), o declive ( $\alpha$ ) e o número de graus-dias de referência ( $GD_{REF}$ ). Com os dados obtidos é possível realizar o cálculo e visualizar o resultado de  $GD$  no Quadro 16.

**Quadro 16 – Cálculo de graus-dias (GD).**

| <b>Z (km)</b> | <b>Zref (km)</b> | <b><math>\alpha</math> (°C/km)</b> | <b>GDref (°C)</b> | <b>GD (°C)</b> |
|---------------|------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|
| 0,69          | 0,68             | 1400                               | 2015              | 2029           |

Fonte: O autor.

Com o valor de  $GD = 2029^{\circ}C$ , através da Quadro 9 do capítulo 2.3.1 é possível classificar a zona climática de inverno de Bragança do tipo I3, visto que o valor encontrado para GD é maior do que  $1800^{\circ}C$ .

Para o cálculo da temperatura exterior média ( $\theta_{ext,v}$ ) também será utilizado a base de cálculo da Equação 5. Para esse parâmetro foi considerado

a altitude do município ( $z$ ) em km, e os seguintes valores que foram coletados na Tabela 10 do Manual SCE (Anexo I): a altitude de referência ( $z_{REF}$ ), o declive ( $a$ ) e o número da temperatura exterior média de referência ( $\theta_{ext,vREF}$ ). Com os dados obtidos é possível realizar o cálculo e visualizar o resultado de  $\theta_{ext,v}$  no Quadro 17.

**Quadro 17 – Cálculo de temperatura exterior média ( $\theta_{ext,v}$ ).**

| Z (km) | Zref (km) | a (°C/km) | $\theta_{ext,vref}$ (°C) | $\theta_{ext,v}$ (°C) |
|--------|-----------|-----------|--------------------------|-----------------------|
| 0,69   | 0,68      | -7        | 21,5                     | 21,43                 |

Fonte: O autor.

Com o valor de  $\theta_{ext,v} = 21,43^{\circ}\text{C}$ , através da Quadro 10 do capítulo 2.3.1 é possível classificar a zona climática de verão de Bragança do tipo V2, visto que o valor encontrado para  $\theta_{ext,v}$  esta entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $22^{\circ}\text{C}$ .

Diante dessa classificação, foi estabelecido o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo da envolvente opaca vertical do edifício, em condição de fronteira exterior, presente em Portugal Continental, para Bragança. Com a zona climática de inverno sendo I3, temos, a partir do Quadro 11 do capítulo 2.3.1 que  $U_{m\acute{a}x} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)]}$ .

Com essa premissa, todas as soluções construtivas devem atingir o  $U = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)]}$  e para isso acontecer o material de isolamento térmico deve variar sua espessura, visto que os demais materiais constituintes da camada possuem uma espessura pré-determinada.

Para o cálculo do  $U$  de cada solução será utilizado a Equação 3 apresentada no capítulo 2.3.1, com o auxílio da ferramenta excel. Os valores de  $R_{si}$  e  $R_{se}$  são coletados do Quadro 6 e considerados como  $R_{si} = 0,13 \text{ [(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W]}$  e  $R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W]}$ . Os valores da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de cada material da camada são apresentados no Quadro 18, sendo que o  $\lambda$  para os blocos térmicos são informados pelo fabricante Artebel [54] e o  $\lambda$  para a argamassa térmica é indicado pelo fabricante Secil [69] e os demais são estabelecidos por [49].

**Quadro 18 – Valores de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ).**

| Camadas   | $\lambda$ (W/m°C) | Referência |
|---|-------------------|------------|
| Argamassa de reboco tradicional exterior/interior | 1,300             | [49]       |
| Tijolo de todos os tamanhos exterior/interior     | 0,340             | [49]       |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)              | 0,037             | [49]       |
| Lã de rocha                                       | 0,040             | [49]       |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)             | 0,045             | [49]       |
| Bloco Megatérmico Artebel                         | 0,158             | [54]       |
| Bloco Termoacústico Artebel                       | 0,161             | [54]       |
| Argamassa térmica exterior/interior Secil         | 0,050             | [69]       |

Fonte: Conforme referência.

#### 4.1.1 Solução A: sistema construtivo de parede dupla

Abaixo serão apresentados os resultados do comportamento térmico das diferentes configurações da envolvente na solução A. O valor da resistência térmica da caixa de ar foi desconsiderado nessas análises, pois sua espessura foi definida como menor do que 0,5 cm então o valor de R será igual a 0 [48].

No Quadro 19 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.1.a (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 19 – Análise do comportamento térmico de A.1.a.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo exterior (30x20x22)  | 0,220         | 0,340             | 0,647                    |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                              | 0,065         | 0,037             | 1,757                    |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,928</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,342</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.1.a, foi identificado que com apenas 0,062 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] padrão, porém será considerado 0,065 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,342$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

No Quadro 20 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.1.b (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 20 – Análise do comportamento térmico de A.1.b.**

| <b>Constituição da parede</b>                                     | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>.°C/W)</b> |
|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Rse   | -                    | -                                   | 0,040                         |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Tijolo exterior (30x20x22)  | 0,220                | 0,340                               | 0,647                         |
| Lã de rocha   | 0,080                | 0,040                               | 2,000                         |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110                | 0,340                               | 0,324                         |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Rsi   | -                    | -                                   | 0,130                         |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>3,171</b>                  |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |                      |                                     | <b>0,315</b>                  |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.1.b, foi identificado que com apenas 0,067 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] padrão, porém será considerado 0,080 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,315$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

No Quadro 21 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.1.c (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 21 – Análise do comportamento térmico de A.1.c.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo exterior (30x20x22)  | 0,220         | 0,340             | 0,647                    |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)                             | 0,080         | 0,045             | 1,778                    |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,949</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,339</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.1.c, foi identificado que com apenas 0,076 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] padrão, porém será considerado 0,080 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,339$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

No Quadro 22 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.2.a (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 22 – Análise do comportamento térmico de A.2.a.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo exterior (30x20x15)  | 0,150         | 0,340             | 0,441                    |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                              | 0,070         | 0,037             | 1,892                    |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,857</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,350</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.2.a, foi identificado que para atingir o  $U_{máx} = 0,35$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] padrão foi necessário uma espessura de 0,070 m de EPS.

No Quadro 23 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.2.b (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 23 – Análise do comportamento térmico de A.2.b.**

| <b>Constituição da parede</b>  | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (<math>W/m^\circ C</math>)</b> | <b>R (<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>)</b> |
|--|----------------------|--|--|
| Rse  | -                    | -  | 0,040  |
| Argamassa de reboco exterior   | 0,020                | 1,300  | 0,015  |
| Tijolo exterior (30x20x15)   | 0,150                | 0,340  | 0,441  |
| Lã de rocha  | 0,080                | 0,040  | 2,000  |
| Tijolo interior (30x20x11)   | 0,110                | 0,340  | 0,324  |
| Argamassa de reboco interior   | 0,020                | 1,300  | 0,015  |
| Rsi  | -                    | -  | 0,130  |
| <b>Resistência térmica total (<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>)</b>             |                      |  | <b>2,965</b>                                 |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (<math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math>)</b> |                      |  | <b>0,337</b>                                 |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.2.b, foi identificado que com apenas 0,076 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{máx} = 0,35$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] padrão, porém será considerado 0,080 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,337$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ].

No Quadro 24 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.2.c (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 24 – Análise do comportamento térmico de A.2.c.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo exterior (30x20x15)  | 0,150         | 0,340             | 0,441                    |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)                             | 0,100         | 0,045             | 2,222                    |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>3,188</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,314</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.2.c, foi identificado que com apenas 0,085 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] padrão, porém será considerado 0,100 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,314$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

No Quadro 25 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.3.a (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 25 – Análise do comportamento térmico de A.3.a.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de reboco exterior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo exterior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                              | 0,075         | 0,037             | 2,027                    |
| Tijolo interior (30x20x11)  | 0,110         | 0,340             | 0,324                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,875</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,348</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.3.a, foi identificado que com apenas 0,074 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,075 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,348 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$ .

No Quadro 26 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.3.b (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 26 – Análise do comportamento térmico de A.3.b.**

| <b>Constituição da parede</b>                         | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m²·°C/W)</b> |
|---|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse   | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa de reboco exterior                          | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Tijolo exterior (30x20x11)                            | 0,110                | 0,340                               | 0,324              |
| Lã de rocha   | 0,080                | 0,040                               | 2,000              |
| Tijolo interior (30x20x11)                            | 0,110                | 0,340                               | 0,324              |
| Argamassa de reboco interior                          | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Rsi   | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m²·°C/W)</b>            |                      |                                     | <b>2,848</b>       |
| <b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m²·°C)</b> |                      |                                     | <b>0,351</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.3.b, foi identificado que para atingir o  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$  padrão foi necessário uma espessura de 0,080 m de lã de rocha.

No Quadro 27 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como A.3.c (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 27 – Análise do comportamento térmico de A.3.c.**

| <b>Constituição da parede</b>  | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<sup>0</sup>C)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C/W)</b> |
|--|----------------------|--|--|
| Rse  | -                    | -  | 0,040                                    |
| Argamassa de reboco exterior   | 0,020                | 1,300  | 0,015                                    |
| Tijolo exterior (30x20x11)   | 0,110                | 0,340  | 0,324                                    |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)  | 0,100                | 0,045  | 2,222                                    |
| Tijolo interior (30x20x11)   | 0,110                | 0,340  | 0,324                                    |
| Argamassa de reboco interior   | 0,020                | 1,300  | 0,015                                    |
| Rsi  | -                    | -  | 0,130                                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C/W)</b>             |                      |  | <b>3,070</b>                             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C)</b> |                      |  | <b>0,326</b>                             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede A.3.c, foi identificado que com apenas 0,090 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C)] padrão, porém será considerado 0,100 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,326$  [W/(m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>C)].

#### 4.1.2 Solução B: sistema construtivo ETICS

Abaixo serão apresentados os resultados do comportamento térmico das diferentes configurações da envolvente na solução B.

No Quadro 28 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.1.a (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 28 – Análise do comportamento térmico de B.1.a.**

| Constituição da parede                                 | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m².°C/W)  |
|--|---------------|-------------------|--------------|
| Rse  | -             | -                 | 0,040        |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Argamassa de regularização                             | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                   | 0,080         | 0,037             | 2,162        |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Tijolo (30x20x22)                                      | 0,220         | 0,340             | 0,647        |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Rsi  | -             | -                 | 0,130        |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |               |                   | <b>3,041</b> |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |               |                   | <b>0,329</b> |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.1.a, foi identificado que com apenas 0,073 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m².°C)] padrão, porém será considerado 0,080 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,329$  [W/(m².°C)].

No Quadro 29 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.1.b (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 29 – Análise do comportamento térmico de B.1.b.**

| Constituição da parede                                 | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m².°C/W)  |
|--|---------------|-------------------|--------------|
| Rse  | -             | -                 | 0,040        |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Argamassa de regularização                             | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Lã de rocha  | 0,080         | 0,040             | 2,000        |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Tijolo (30x20x22)                                      | 0,220         | 0,340             | 0,647        |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Rsi  | -             | -                 | 0,130        |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,879</b> |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |               |                   | <b>0,347</b> |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.1.b, foi identificado que com apenas 0,079 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,080 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,347 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$ .

No Quadro 30 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.1.c (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 30 – Análise do comportamento térmico de B.1.c.**

| <b>Constituição da parede</b>                                     | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<sup>°C</sup>)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>·°C/W)</b> |
|---|----------------------|--|-------------------------------|
| Rse   | -                    | -  | 0,040                         |
| Argamassa de regularização exterior                               | 0,020                | 1,300  | 0,015                         |
| Argamassa de regularização  | 0,020                | 1,300  | 0,015                         |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)                             | 0,100                | 0,045  | 2,222                         |
| Argamassa de colagem  | 0,020                | 1,300  | 0,015                         |
| Tijolo (30x20x22)   | 0,220                | 0,340  | 0,647                         |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020                | 1,300  | 0,015                         |
| Rsi   | -                    | -  | 0,130                         |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>·°C/W)</b>             |                      |  | <b>3,101</b>                  |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>·°C)</b> |                      |  | <b>0,322</b>                  |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.1.c, foi identificado que com apenas 0,089 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,100 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,322 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$ .

No Quadro 31 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.2.a (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 31 – Análise do comportamento térmico de B.2.a.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de regularização exterior                               | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Argamassa de regularização  | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                              | 0,085         | 0,037             | 2,297                    |
| Argamassa de colagem  | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo (30x20x15)   | 0,150         | 0,340             | 0,441                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>2,970</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,337</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.2.a, foi identificado que com apenas 0,081 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] padrão, porém será considerado 0,085 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,337$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

No Quadro 32 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.2.b (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 32 – Análise do comportamento térmico de B.2.b.**

| Constituição da parede  | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|
| Rse   | -             | -                 | 0,040                    |
| Argamassa de regularização exterior                               | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Argamassa de regularização  | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Lã de rocha   | 0,100         | 0,040             | 2,500                    |
| Argamassa de colagem  | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Tijolo (30x20x15)   | 0,150         | 0,340             | 0,441                    |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020         | 1,300             | 0,015                    |
| Rsi   | -             | -                 | 0,130                    |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |               |                   | <b>3,173</b>             |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |               |                   | <b>0,315</b>             |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.2.b, foi identificado que com apenas 0,087 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{máx} = 0,35 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$  padrão, porém será considerado 0,100 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,315 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ .

No Quadro 33 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como B.2.c (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 33 – Análise do comportamento térmico de B.2.c.**

| <b>Constituição da parede</b>  | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<math>^\circ</math>C)</b> | <b>R (m<math>^2</math>·<math>^\circ</math>C/W)</b> |
|--|----------------------|---|--|
| Rse  | -                    | -   | 0,040  |
| Argamassa de regularização exterior  | 0,020                | 1,300   | 0,015  |
| Argamassa de regularização   | 0,020                | 1,300   | 0,015  |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)  | 0,100                | 0,045   | 2,222  |
| Argamassa de colagem   | 0,020                | 1,300   | 0,015  |
| Tijolo (30x20x15)  | 0,150                | 0,340   | 0,441  |
| Argamassa de reboco interior   | 0,020                | 1,300   | 0,015  |
| Rsi  | -                    | -   | 0,130  |
| <b>Resistência térmica total (m<math>^2</math>·<math>^\circ</math>C/W)</b>             |                      |   | <b>2,895</b>                                       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<math>^2</math>·<math>^\circ</math>C)</b> |                      |   | <b>0,345</b>                                       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede B.2.c, foi identificado que com apenas 0,098 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{máx} = 0,35 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$  padrão, porém será considerado 0,100 m de isolamento por ser o próximo valor comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,345 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ .

#### 4.1.3 Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico

Abaixo serão apresentados os resultados do comportamento térmico das diferentes configurações da envolvente na solução C.

No Quadro 34 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.1.a formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em EPS.

**Quadro 34 – Análise do comportamento térmico de C.1.a.**

| <b>Constituição da parede</b>                          | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m².°C/W)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse  | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Argamassa de regularização                             | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                   | 0,030                | 0,037                               | 0,811              |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Bloco Megatérmico Artebel                              | 0,380                | 0,160                               | 2,405              |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Rsi  | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>3,447</b>       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |                      |                                     | <b>0,290</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.1.a, foi identificado que com apenas 0,01 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m².°C)] padrão, porém será considerado 0,03 m de isolamento por ser o valor mínimo comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,290$  [W/(m².°C)].

No Quadro 35 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.1.b formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 35 – Análise do comportamento térmico de C.1.b.**

| Constituição da parede                                 | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m².°C/W)  |
|--|---------------|-------------------|--------------|
| Rse  | -             | -                 | 0,040        |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Argamassa de regularização                             | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Lã de rocha  | 0,040         | 0,040             | 1,000        |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Bloco Megatérmico Artebel                              | 0,380         | 0,160             | 2,405        |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Rsi  | -             | -                 | 0,130        |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |               |                   | <b>3,637</b> |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |               |                   | <b>0,275</b> |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.1.b, foi identificado que com apenas 0,01 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m².°C)] padrão, porém será considerado 0,04 m de isolamento por ser o valor mínimo comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,275$  [W/(m².°C)].

No Quadro 36 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.1.c formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em ICB.

**Quadro 36 – Análise do comportamento térmico de C.1.c.**

| Constituição da parede                                 | Espessura (m) | $\lambda$ (W/m°C) | R (m².°C/W)  |
|--|---------------|-------------------|--------------|
| Rse  | -             | -                 | 0,040        |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Argamassa de regularização                             | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)                  | 0,030         | 0,045             | 0,667        |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Bloco Megatérmico Artebel                              | 0,380         | 0,160             | 2,405        |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020         | 1,300             | 0,015        |
| Rsi  | -             | -                 | 0,130        |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |               |                   | <b>3,303</b> |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |               |                   | <b>0,303</b> |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.1.c, foi identificado que com apenas 0,01 m de isolamento em ICB a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,03 m de isolamento por ser o valor mínimo comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,303 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$ .

No Quadro 37 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.1.d formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco tradicional, com bloco megatérmico do fabricante Artebel e sem isolamento térmico.

**Quadro 37 – Análise do comportamento térmico de C.1.d.**

| <b>Constituição da parede</b>                                   | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<sup>2</sup>°C)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>°C/W)</b> |
|---|----------------------|---|------------------------------|
| Rse   | -                    | -   | 0,040                        |
| Argamassa de reboco exterior                                    | 0,020                | 1,300   | 0,015                        |
| Bloco Megatérmico Artebel                                       | 0,380                | 0,160   | 2,405                        |
| Argamassa de reboco interior                                    | 0,020                | 1,300   | 0,015                        |
| Rsi   | -                    | -   | 0,130                        |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>°C/W)</b>            |                      |   | <b>2,606</b>                 |
| <b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>°C)</b> |                      |   | <b>0,384</b>                 |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.1.d foi identificado que essa solução só atingiria o valor de  $U = 0,35 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$  com 0,18 m de argamassa dos dois lados, o que se torna inviável de aplicação. Considerando o padrão de 0,02 m de reboco interior e exterior a solução apresenta um valor de  $U = 0,384 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$  o que se torna inaceitável, visto que para a zona climática de Bragança o  $U$  máximo permitido é  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$ . Diante disso, essa solução construtiva será eliminada das próximas etapas do estudo por não satisfazer o primeiro critério de comportamento térmico.

No Quadro 38 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.1.e formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco térmico e com bloco megatérmico do fabricante Artebel.

**Quadro 38 – Análise do comportamento térmico de C.1.e.**

| <b>Constituição da parede</b>                          | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m².°C/W)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse  | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa térmica exterior Secil                       | 0,020                | 0,050                               | 0,400              |
| Bloco Megatérmico Artebel                              | 0,380                | 0,160                               | 2,405              |
| Argamassa térmica interior Secil                       | 0,020                | 0,050                               | 0,400              |
| Rsi  | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>3,375</b>       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |                      |                                     | <b>0,296</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.1.e, foi identificado que com apenas 0,01 m de revestimento em argamassa térmica do fabricante Secil a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35$  [W/(m².°C)] padrão, porém será considerado 0,02 m de acabamento por ser o valor mínimo aceitável, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,296$  [W/(m².°C)].

No Quadro 39 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.2.a formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em EPS.

**Quadro 39 – Análise do comportamento térmico de C.2.a.**

| <b>Constituição da parede</b>                          | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m².°C/W)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse  | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Argamassa de regularização                             | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Poliestireno expandido moldado (EPS)                   | 0,030                | 0,037                               | 0,811              |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Bloco Termoacústico Artebel                            | 0,315                | 0,160                               | 1,957              |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Rsi  | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>2,999</b>       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |                      |                                     | <b>0,333</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.2.a, foi identificado que com apenas 0,025 m de isolamento em EPS a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,03 m de isolamento por ser o valor mínimo comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,333 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$ .

No Quadro 40 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.2.b formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 40 – Análise do comportamento térmico de C.2.b.**

| <b>Constituição da parede</b>                                     | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m<sup>2</sup>.°C/W)</b> |
|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Rse   | -                    | -                                   | 0,040                         |
| Argamassa de regularização exterior                               | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Argamassa de regularização  | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Lã de rocha   | 0,040                | 0,040                               | 1,000                         |
| Argamassa de colagem  | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Bloco Termoacústico Artebel                                       | 0,315                | 0,160                               | 1,957                         |
| Argamassa de reboco interior                                      | 0,020                | 1,300                               | 0,015                         |
| Rsi   | -                    | -                                   | 0,130                         |
| <b>Resistência térmica total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>3,188</b>                  |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> |                      |                                     | <b>0,314</b>                  |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.2.b, foi identificado que com apenas 0,027 m de isolamento em lã de rocha a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$  padrão, porém será considerado 0,04 m de isolamento por ser o valor mínimo comercializado, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,314 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$ .

No Quadro 41 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.2.c formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em ICB.

**Quadro 41 – Análise do comportamento térmico de C.2.c.**

| <b>Constituição da parede</b>                          | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m².°C/W)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse  | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa de regularização exterior                    | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Argamassa de regularização                             | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)                  | 0,030                | 0,045                               | 0,667              |
| Argamassa de colagem                                   | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Bloco Termoacústico Artebel                            | 0,315                | 0,160                               | 1,957              |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Rsi  | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>2,855</b>       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |                      |                                     | <b>0,350</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.2.c, foi identificado que para atingir o  $U_{m\acute{a}x} = 0,35$  [W/(m².°C)] padrão foi necessário uma espessura de 0,030 m de ICB.

No Quadro 42 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.2.d formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco tradicional, com bloco termoacústico do fabricante Artebel e sem isolamento térmico.

**Quadro 42 – Análise do comportamento térmico de C.2.d.**

| <b>Constituição da parede</b>                          | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m°C)</b> | <b>R (m².°C/W)</b> |
|--|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Rse  | -                    | -                                   | 0,040              |
| Argamassa de reboco exterior                           | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Bloco Termoacústico Artebel                            | 0,315                | 0,160                               | 1,957              |
| Argamassa de reboco interior                           | 0,020                | 1,300                               | 0,015              |
| Rsi  | -                    | -                                   | 0,130              |
| <b>Resistência térmica total (m².°C/W)</b>             |                      |                                     | <b>2,157</b>       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m².°C)</b> |                      |                                     | <b>0,464</b>       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.2.d foi identificado que essa solução só atingiria o valor de  $U = 0,35$  [W/(m².°C)] com

0,45 m de argamassa dos dois lados, o que se torna inviável de aplicação. Considerando o padrão de 0,02 m de reboco interior e exterior a solução apresenta um valor de  $U = 0,464 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$  o que se torna inaceitável, visto que para a zona climática de Bragança o  $U$  máximo permitido é  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$ . Diante disso, essa solução construtiva será eliminada das próximas etapas do estudo por não satisfazer o primeiro critério de comportamento térmico.

No Quadro 43 é possível visualizar o comportamento térmico da solução nomeada como C.2.e formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco térmico e com bloco termoacústico do fabricante Artebel.

**Quadro 43 – Análise do comportamento térmico de C.2.e.**

| <b>Constituição da parede</b>  | <b>Espessura (m)</b> | <b><math>\lambda</math> (W/m<math>^\circ</math>C)</b> | <b>R (m<math>^2</math>.<math>^\circ</math>C/W)</b> |
|--|----------------------|---|--|
| Rse  | -                    | -   | 0,040  |
| Argamassa térmica exterior Secil   | 0,020                | 0,050   | 0,400  |
| Bloco Termoacústico Artebel  | 0,315                | 0,160   | 1,957  |
| Argamassa térmica interior Secil   | 0,020                | 0,050   | 0,400  |
| Rsi  | -                    | -   | 0,130  |
| <b>Resistência térmica total (m<math>^2</math>.<math>^\circ</math>C/W)</b>             |                      |   | <b>2,927</b>                                       |
| <b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<math>^2</math>.<math>^\circ</math>C)</b> |                      |   | <b>0,342</b>                                       |

Fonte: O autor.

A partir dos materiais definidos para detalhar a solução de parede C.2.e, foi identificado que com apenas 0,018 m de revestimento em argamassa térmica do fabricante Secil a solução já atingiria o valor de  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$  padrão, porém será considerado 0,02 m de acabamento por ser o valor mínimo aceitável, assim o coeficiente de transmissão térmica da solução será  $U = 0,342 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$ .

#### 4.1.4 Resumo

Com o intuito de resumir e clarificar os resultados obtidos na análise de comportamento térmico das soluções, o Quadro 44 apresenta o resumo de todas as soluções que são utilizadas com as respectivas espessuras de isolamento e os valores do coeficiente de transmissão térmica encontrado. Considerando que as opções C.1.d e C.2.d foram eliminadas do estudo, então elas não serão apresentadas no Quadro 44.

**Quadro 44 – Quadro resumo da análise do comportamento térmico das soluções.**

| Tipologia |   | Espessura do isolamento (m) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|-----------|---|-----------------------------|--------------------------|
| A.1.a     | Parede dupla - 22+11 cm com EPS                             | 0,065                       | 0,342                    |
| A.1.b     | Parede dupla - 22+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 0,080                       | 0,315                    |
| A.1.c     | Parede dupla - 22+11 cm com ICB                             | 0,080                       | 0,339                    |
| A.2.a     | Parede dupla - 15+11 cm com EPS                             | 0,070                       | 0,350                    |
| A.2.b     | Parede dupla - 15+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 0,080                       | 0,337                    |
| A.2.c     | Parede dupla - 15+11 cm com ICB                             | 0,100                       | 0,314                    |
| A.3.a     | Parede dupla - 11+11 cm com EPS                             | 0,075                       | 0,348                    |
| A.3.b     | Parede dupla - 11+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 0,080                       | 0,351                    |
| A.3.c     | Parede dupla - 11+11 cm com ICB                             | 0,100                       | 0,326                    |
| B.1.a     | Parede ETICS - 22 cm com EPS                                | 0,080                       | 0,329                    |
| B.1.b     | Parede ETICS - 22 cm com LÃ DE ROCHA                        | 0,080                       | 0,347                    |
| B.1.c     | Parede ETICS - 22 cm com ICB                                | 0,100                       | 0,322                    |
| B.2.a     | Parede ETICS - 15 cm com EPS                                | 0,085                       | 0,337                    |
| B.2.b     | Parede ETICS - 15 cm com LÃ DE ROCHA                        | 0,100                       | 0,315                    |
| B.2.c     | Parede ETICS - 15 cm com ICB                                | 0,100                       | 0,345                    |
| C.1.a     | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com EPS           | 0,030                       | 0,290                    |
| C.1.b     | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com LÃ DE ROCHA   | 0,040                       | 0,275                    |
| C.1.c     | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com ICB           | 0,030                       | 0,303                    |
| C.1.e     | Bloco Megatérmico Artebel com reboco térmico                | 0,020                       | 0,296                    |
| C.2.a     | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com EPS         | 0,030                       | 0,333                    |
| C.2.b     | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com LÃ DE ROCHA | 0,040                       | 0,314                    |
| C.2.c     | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com ICB         | 0,030                       | 0,350                    |
| C.2.e     | Bloco Termoacústico Artebel com reboco térmico              | 0,020                       | 0,342                    |

Fonte: O autor.

Diante dos resultados é possível identificar que a solução C.1.b apresentou o melhor comportamento térmico pois resultou no menor valor de U, seguido da solução C.1.a e C.1.e. Segundo a literatura [43] quanto menor é o valor do coeficiente de transmissão térmica U, maior será sua capacidade de isolamento da estrutura, e vice e versa. As demais soluções apresentaram valores maiores que C.1.b porém são valores aceitáveis e satisfatórios pois são resultados que não ultrapassam o valor  $U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$  padrão estabelecido.

## 4.2 Análise ambiental

Nesse capítulo será apresentado os resultados de toda a análise dos impactos ambientais das soluções objetos de estudo, na fase do ciclo de vida “Cradle-to-gate” (do berço ao portão).

Para tornar a comparação dos parâmetros viável, será realizado o cálculo da conversão dos parâmetros de kg para  $\text{m}^2$  através das Equações 1 e 2 apresentada no capítulo 2.1.4, e os valores de peso específico de cada material são apresentados no Quadro 45. Para os blocos térmico megatérmico e termoacústico não será necessário realizar esse cálculo pois o fornecedor Artebel apresenta os valores das categorias de impacto ambiental já em unidade de  $1\text{m}^2$ .

**Quadro 45 – Valores de peso específico ( $\rho$ ).**

| <b>Materiais</b>                                  | <b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|---|---|
| Argamassa de reboco tradicional exterior/interior | 2100  |
| Poliestireno Expandido Moldado (EPS)              | 25  |
| Lã de Rocha                                       | 100   |
| Aglomerado de cortiça expandida (ICB)             | 160   |
| Argamassa térmica exterior/interior Secil         | 200   |

Fonte: O autor.

Com o auxílio da ferramenta informática excel, os valores para os impactos ambientais de cada solução já serão apresentados convertidos para unidade de m<sup>2</sup>, baseado nas Equações 1 e 2, considerando os valores de peso específico e espessura de cada material.

#### 4.2.1 Solução A: sistema construtivo de parede dupla

Abaixo serão apresentados os resultados das categorias de impacto ambiental das diferentes configurações da envolvente na solução A, em unidade de m<sup>2</sup>.

No Quadro 46 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.1.a (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 46 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x22) | 1,77E-01                               | 3,16E+01           | 2,36E-06        | 8,12E-02           | 6,07E-03                         | 9,84E-03           | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| EPS (0,065m)               | 7,52E-02                               | 6,73E+00           | 1,79E-07        | 2,42E-02           | 1,10E-02                         | 2,02E-03           | 1,71E+02        | 1,64E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,90E-01</b>                        | <b>7,12E+01</b>    | <b>4,49E-06</b> | <b>1,75E-01</b>    | <b>2,15E-02</b>                  | <b>2,12E-02</b>    | <b>8,73E+02</b> | <b>7,59E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 47 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.1.b (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 47 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x22) | 1,77E-01                               | 3,16E+01        | 2,36E-06        | 8,12E-02        | 6,07E-03        | 9,84E-03        | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| Lã de rocha (0,080m)       | 8,40E-02                               | 1,17E+01        | 4,88E-07        | 6,66E-02        | 7,42E-03        | 3,57E-03        | 1,73E+02        | 7,83E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01        | 1,28E-06        | 4,36E-02        | 3,33E-03        | 5,21E-03        | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,99E-01</b>                        | <b>7,62E+01</b> | <b>4,80E-06</b> | <b>2,18E-01</b> | <b>1,79E-02</b> | <b>2,27E-02</b> | <b>8,75E+02</b> | <b>8,21E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 48 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.1.c (parede dupla tijolo 22cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 48 – Avaliação do ciclo de vida de A.1.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x22) | 1,77E-01                               | 3,16E+01        | 2,36E-06        | 8,12E-02        | 6,07E-03        | 9,84E-03        | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| ICB (0,080m)               | 1,33E-01                               | -8,37E+00       | 1,19E-06        | 6,90E-02        | 5,82E-03        | 8,42E-03        | 3,21E+02        | 3,48E+02        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01        | 1,28E-06        | 4,36E-02        | 3,33E-03        | 5,21E-03        | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>4,48E-01</b>                        | <b>5,61E+01</b> | <b>5,50E-06</b> | <b>2,20E-01</b> | <b>1,63E-02</b> | <b>2,76E-02</b> | <b>1,02E+03</b> | <b>4,22E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 49 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.2.a (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 49 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x15) | 1,21E-01                               | 2,15E+01        | 1,61E-06        | 5,53E-02        | 4,14E-03        | 6,71E-03        | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| EPS (0,070m)               | 8,10E-02                               | 7,25E+00        | 1,93E-07        | 2,61E-02        | 1,18E-02        | 2,17E-03        | 1,84E+02        | 1,77E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01        | 1,28E-06        | 4,36E-02        | 3,33E-03        | 5,21E-03        | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,40E-01</b>                        | <b>6,16E+01</b> | <b>3,75E-06</b> | <b>1,51E-01</b> | <b>2,04E-02</b> | <b>1,82E-02</b> | <b>7,64E+02</b> | <b>6,43E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 50 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.2.b (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 50 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x15) | 1,21E-01                               | 2,15E+01           | 1,61E-06        | 5,53E-02           | 4,14E-03                         | 6,71E-03           | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| Lã de rocha (0,080m)       | 8,40E-02                               | 1,17E+01           | 4,88E-07        | 6,66E-02           | 7,42E-03                         | 3,57E-03           | 1,73E+02        | 7,83E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,43E-01</b>                        | <b>6,61E+01</b>    | <b>4,05E-06</b> | <b>1,92E-01</b>    | <b>1,60E-02</b>                  | <b>1,96E-02</b>    | <b>7,53E+02</b> | <b>7,04E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 51 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.2.c (parede dupla tijolo 15cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 51 – Avaliação do ciclo de vida de A.2.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x15) | 1,21E-01                               | 2,15E+01           | 1,61E-06        | 5,53E-02           | 4,14E-03                         | 6,71E-03           | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| ICB (0,100m)               | 1,66E-01                               | -1,05E+01          | 1,48E-06        | 8,62E-02           | 7,28E-03                         | 1,05E-02           | 4,02E+02        | 4,35E+02        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>4,25E-01</b>                        | <b>4,39E+01</b>    | <b>5,04E-06</b> | <b>2,12E-01</b>    | <b>1,58E-02</b>                  | <b>2,65E-02</b>    | <b>9,82E+02</b> | <b>4,98E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 52 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.3.a (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 52 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| EPS (0,075m)               | 8,68E-02                               | 7,76E+00           | 2,06E-07        | 2,79E-02           | 1,27E-02                         | 2,33E-03           | 1,97E+02        | 1,89E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,22E-01</b>                        | <b>5,71E+01</b>    | <b>3,44E-06</b> | <b>1,42E-01</b>    | <b>2,04E-02</b>                  | <b>1,68E-02</b>    | <b>7,23E+02</b> | <b>5,87E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 53 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.3.b (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 53 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Lã de rocha (0,080m)       | 8,40E-02                               | 1,17E+01           | 4,88E-07        | 6,66E-02           | 7,42E-03                         | 3,57E-03           | 1,73E+02        | 7,83E+00        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01           | 1,28E-06        | 4,36E-02           | 3,33E-03                         | 5,21E-03           | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,19E-01</b>                        | <b>6,11E+01</b>    | <b>3,72E-06</b> | <b>1,80E-01</b>    | <b>1,52E-02</b>                  | <b>1,81E-02</b>    | <b>6,99E+02</b> | <b>6,47E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 54 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como A.3.c (parede dupla tijolo 11cm + 11) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 54 – Avaliação do ciclo de vida de A.3.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo exterior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01        | 1,28E-06        | 4,36E-02        | 3,33E-03        | 5,21E-03        | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| ICB (0,100m)               | 1,66E-01                               | -1,05E+01       | 1,48E-06        | 8,62E-02        | 7,28E-03        | 1,05E-02        | 4,02E+02        | 4,35E+02        |
| Tijolo interior (30x20x11) | 9,68E-02                               | 1,65E+01        | 1,28E-06        | 4,36E-02        | 3,33E-03        | 5,21E-03        | 2,08E+02        | 1,96E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>4,01E-01</b>                        | <b>3,89E+01</b> | <b>4,71E-06</b> | <b>2,00E-01</b> | <b>1,50E-02</b> | <b>2,50E-02</b> | <b>9,28E+02</b> | <b>4,92E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

#### 4.2.2 Solução B: sistema construtivo ETICS

Abaixo serão apresentados os resultados das categorias de impacto ambiental das diferentes configurações da envolvente na solução B, em unidade de m<sup>2</sup>.

No Quadro 55 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.1.a (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 55 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| EPS (0,080m)               | 9,26E-02                               | 8,28E+00           | 2,20E-07        | 2,98E-02           | 1,35E-02                         | 2,48E-03           | 2,10E+02        | 2,02E+00        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x22)          | 1,77E-01                               | 3,16E+01           | 2,36E-06        | 8,12E-02           | 6,07E-03                         | 9,84E-03           | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,52E-01</b>                        | <b>7,26E+01</b>    | <b>3,92E-06</b> | <b>1,64E-01</b>    | <b>2,17E-02</b>                  | <b>2,05E-02</b>    | <b>8,14E+02</b> | <b>7,43E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 56 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.1.b (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 56 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Lã de rocha (0,080m)       | 8,40E-02                               | 1,17E+01           | 4,88E-07        | 6,66E-02           | 7,42E-03                         | 3,57E-03           | 1,73E+02        | 7,83E+00        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x22)          | 1,77E-01                               | 3,16E+01           | 2,36E-06        | 8,12E-02           | 6,07E-03                         | 9,84E-03           | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,43E-01</b>                        | <b>7,60E+01</b>    | <b>4,19E-06</b> | <b>2,01E-01</b>    | <b>1,57E-02</b>                  | <b>2,16E-02</b>    | <b>7,77E+02</b> | <b>8,01E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 57 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.1.c (alvenaria tijolo simples de 22cm com etics) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 57 – Avaliação do ciclo de vida de B.1.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| ICB (0,100m)               | 1,66E-01                               | -1,05E+01          | 1,48E-06        | 8,62E-02           | 7,28E-03                         | 1,05E-02           | 4,02E+02        | 4,35E+02        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x22)          | 1,77E-01                               | 3,16E+01           | 2,36E-06        | 8,12E-02           | 6,07E-03                         | 9,84E-03           | 3,84E+02        | 3,70E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>4,26E-01</b>                        | <b>5,39E+01</b>    | <b>5,19E-06</b> | <b>2,20E-01</b>    | <b>1,55E-02</b>                  | <b>2,85E-02</b>    | <b>1,01E+03</b> | <b>5,07E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 58 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.2.a (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em EPS.

**Quadro 58 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| EPS (0,085m)               | 9,84E-02                               | 8,80E+00           | 2,34E-07        | 3,17E-02           | 1,43E-02                         | 2,64E-03           | 2,23E+02        | 2,15E+00        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x15)          | 1,21E-01                               | 2,15E+01           | 1,61E-06        | 5,53E-02           | 4,14E-03                         | 6,71E-03           | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,02E-01</b>                        | <b>6,31E+01</b>    | <b>3,19E-06</b> | <b>1,40E-01</b>    | <b>2,07E-02</b>                  | <b>1,75E-02</b>    | <b>7,05E+02</b> | <b>6,27E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 59 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.2.b (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 59 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Lã de rocha (0,100m)       | 1,05E-01                               | 1,46E+01        | 6,10E-07        | 8,32E-02        | 9,28E-03        | 4,46E-03        | 2,16E+02        | 9,79E+00        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x15)          | 1,21E-01                               | 2,15E+01        | 1,61E-06        | 5,53E-02        | 4,14E-03        | 6,71E-03        | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,08E-01</b>                        | <b>6,89E+01</b> | <b>3,56E-06</b> | <b>1,91E-01</b> | <b>1,56E-02</b> | <b>1,94E-02</b> | <b>6,98E+02</b> | <b>7,04E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 60 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como B.2.c (alvenaria tijolo simples de 15cm com etics) contendo isolamento térmico em ICB.

**Quadro 60 – Avaliação do ciclo de vida de B.2.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| ICB (0,100m)               | 1,66E-01                               | -1,05E+01          | 1,48E-06        | 8,62E-02           | 7,28E-03                         | 1,05E-02           | 4,02E+02        | 4,35E+02        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Tijolo (30x20x15)          | 1,21E-01                               | 2,15E+01           | 1,61E-06        | 5,53E-02           | 4,14E-03                         | 6,71E-03           | 2,62E+02        | 2,53E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>3,70E-01</b>                        | <b>4,38E+01</b>    | <b>4,44E-06</b> | <b>1,94E-01</b>    | <b>1,36E-02</b>                  | <b>2,54E-02</b>    | <b>8,84E+02</b> | <b>4,96E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

#### 4.2.3 Solução C: sistema de alvenaria com bloco térmico

Abaixo serão apresentados os resultados das categorias de impacto ambiental das diferentes configurações da envolvente na solução C, em unidade de m<sup>2</sup>. Lembrando que as soluções C.1.d e C.2.d não serão avaliadas pois foram eliminadas do estudo na análise de comportamento térmico.

No Quadro 61 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.1.a formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em EPS.

**Quadro 61 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| EPS (0,030m)               | 3,47E-02                               | 3,11E+00        | 8,25E-08        | 1,12E-02        | 5,06E-03        | 9,30E-04        | 7,88E+01        | 7,58E-01        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Megatérmico Artebel  | 4,75E-04                               | 6,48E+01        | 1,897E-06       | 2,95E-01        | 1,34E-02        | 6,31E-02        | 4,53E+02        | 4,52E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>1,18E-01</b>                        | <b>1,01E+02</b> | <b>3,32E-06</b> | <b>3,59E-01</b> | <b>2,06E-02</b> | <b>7,22E-02</b> | <b>7,52E+02</b> | <b>8,12E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 62 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.1.b formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 62 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Lã de rocha (0,040m)       | 4,20E-02                               | 5,84E+00           | 2,44E-07        | 3,33E-02           | 3,71E-03                         | 1,78E-03           | 8,64E+01        | 3,92E+00        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Megatérmico Artebel  | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,53E+02        | 4,52E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>1,25E-01</b>                        | <b>1,03E+02</b>    | <b>3,49E-06</b> | <b>3,81E-01</b>    | <b>1,92E-02</b>                  | <b>7,31E-02</b>    | <b>7,59E+02</b> | <b>8,44E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 63 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.1.c formada pelo sistema ETICS com bloco megatérmico do fabricante Artebel e isolamento térmico em ICB.

**Quadro 63 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| ICB (0,030m)               | 4,99E-02                               | -3,14E+00          | 4,44E-07        | 2,59E-02           | 2,18E-03                         | 3,16E-03           | 1,20E+02        | 1,31E+02        |
| Argamassa de colagem       | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Megatérmico Artebel  | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,53E+02        | 4,52E+01        |
| Argamassa interior         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>               | <b>1,33E-01</b>                        | <b>9,44E+01</b>    | <b>3,69E-06</b> | <b>3,74E-01</b>    | <b>1,77E-02</b>                  | <b>7,44E-02</b>    | <b>7,94E+02</b> | <b>2,11E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 64 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.1.e formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco térmico e com bloco megatérmico do fabricante Artebel.

**Quadro 64 – Avaliação do ciclo de vida de C.1.e com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada     | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                            | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                            | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa térmica exterior | 1,96E-03                               | 7,80E-01           | 3,20E-08        | 1,26E-03           | 5,16E-05                         | 1,95E-04           | 5,24E+00        | 8,40E-01        |
| Bloco Megatérmico Artebel  | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,76E+02        | 5,84E+01        |
| Argamassa térmica interior | 1,96E-03                               | 7,80E-01           | 3,20E-08        | 1,26E-03           | 5,16E-05                         | 1,95E-04           | 5,24E+00        | 8,40E-01        |
| <b>Total</b>               | <b>4,40E-03</b>                        | <b>6,64E+01</b>    | <b>1,96E-06</b> | <b>2,98E-01</b>    | <b>1,35E-02</b>                  | <b>6,35E-02</b>    | <b>4,86E+02</b> | <b>6,01E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 65 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.2.a formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em EPS.

**Quadro 65 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.a com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada       | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|------------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                              | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                              | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior           | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização   | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| EPS (0,030m)                 | 3,47E-02                               | 3,11E+00           | 8,25E-08        | 1,12E-02           | 5,06E-03                         | 9,30E-04           | 7,88E+01        | 7,58E-01        |
| Argamassa de colagem         | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Termoacústico Artebel  | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,76E+02        | 5,84E+01        |
| Argamassa de reboco interior | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>                 | <b>1,18E-01</b>                        | <b>1,01E+02</b>    | <b>3,32E-06</b> | <b>3,59E-01</b>    | <b>2,06E-02</b>                  | <b>7,22E-02</b>    | <b>7,75E+02</b> | <b>9,44E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 66 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.2.b formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em lã de rocha.

**Quadro 66 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.b com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada      | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                             | ADP                                    | GWP             | ODP             | AP              | POCP            | EP              | ENR             | ER              |
|                             | (Sb)                                   | (CO2)           | (CFC-11)        | (SO2)           | (C2H4)          | (PO4)           | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior          | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização  | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Lã de rocha (0,040m)        | 4,20E-02                               | 5,84E+00        | 2,44E-07        | 3,33E-02        | 3,71E-03        | 1,78E-03        | 8,64E+01        | 3,92E+00        |
| Argamassa de colagem        | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Termoacústico Artebel | 4,75E-04                               | 6,48E+01        | 1,897E-06       | 2,95E-01        | 1,34E-02        | 6,31E-02        | 4,76E+02        | 5,84E+01        |
| Argamassa interior          | 2,06E-02                               | 8,19E+00        | 3,36E-07        | 1,32E-02        | 5,42E-04        | 2,05E-03        | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>                | <b>1,25E-01</b>                        | <b>1,03E+02</b> | <b>3,49E-06</b> | <b>3,81E-01</b> | <b>1,92E-02</b> | <b>7,31E-02</b> | <b>7,82E+02</b> | <b>9,76E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 67 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.2.c formada pelo sistema ETICS com bloco termoacústico do fabricante Artebel e isolamento térmico em ICB.

**Quadro 67 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.c com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada      | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|-----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                             | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                             | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa exterior          | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Argamassa de regularização  | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| ICB (0,030m)                | 4,99E-02                               | -3,14E+00          | 4,44E-07        | 2,59E-02           | 2,18E-03                         | 3,16E-03           | 1,20E+02        | 1,31E+02        |
| Argamassa de colagem        | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| Bloco Termoacústico Artebel | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,76E+02        | 5,84E+01        |
| Argamassa interior          | 2,06E-02                               | 8,19E+00           | 3,36E-07        | 1,32E-02           | 5,42E-04                         | 2,05E-03           | 5,50E+01        | 8,82E+00        |
| <b>Total</b>                | <b>1,33E-01</b>                        | <b>9,44E+01</b>    | <b>3,69E-06</b> | <b>3,74E-01</b>    | <b>1,77E-02</b>                  | <b>7,44E-02</b>    | <b>8,17E+02</b> | <b>2,24E+02</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir desses resultados é possível visualizar o quanto cada material, e a solução como um todo, impacta negativamente o meio ambiente e através do índice ER é possível identificar o impacto positivo dos elementos no consumo de energia de fontes renováveis.

No Quadro 68 é possível visualizar os índices de impacto ambiental da solução nomeada como C.2.e formada pelo sistema de alvenaria simples e argamassa de reboco térmico e com bloco termoacústico do fabricante Artebel.

**Quadro 68 – Avaliação do ciclo de vida de C.2.e com base na espessura dos materiais utilizados na solução construtiva.**

| Constituição da camada      | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |                 |                    |                                  |                    |                 |                 |
|-----------------------------|--|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                             | ADP                                    | GWP                | ODP             | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR             | ER              |
|                             | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11)        | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | (MJ)            | (MJ)            |
| Argamassa térmica exterior  | 1,96E-03                               | 7,80E-01           | 3,20E-08        | 1,26E-03           | 5,16E-05                         | 1,95E-04           | 5,24E+00        | 8,40E-01        |
| Bloco Termoacústico Artebel | 4,75E-04                               | 6,48E+01           | 1,897E-06       | 2,95E-01           | 1,34E-02                         | 6,31E-02           | 4,76E+02        | 5,84E+01        |
| Argamassa térmica interior  | 1,96E-03                               | 7,80E-01           | 3,20E-08        | 1,26E-03           | 5,16E-05                         | 1,95E-04           | 5,24E+00        | 8,40E-01        |
| <b>Total</b>                | <b>4,40E-03</b>                        | <b>6,64E+01</b>    | <b>1,96E-06</b> | <b>2,98E-01</b>    | <b>1,35E-02</b>                  | <b>6,35E-02</b>    | <b>4,86E+02</b> | <b>6,01E+01</b> |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

#### 4.2.4 Resumo

Com o intuito de resumir e clarificar os resultados obtidos na análise de impactos ambientais das soluções, o Quadro 69 apresenta o resumo de todas as soluções com os respectivos índices de impacto total de cada solução.

**Quadro 69 – Quadro resumo da avaliação do ciclo de vida das soluções.**

| Tipologia | Categorias de Impacto Ambiental de LCA |                    |          |                    |                                  |                    |          |          |
|-----------|--|--------------------|----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------|----------|
|           | ADP                                    | GWP                | ODP      | AP                 | POCP                             | EP                 | ENR      | ER       |
|           | (Sb)                                   | (CO <sub>2</sub> ) | (CFC-11) | (SO <sub>2</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | (PO <sub>4</sub> ) | MJ       | MJ       |
| A.1.a     | 3,90E-01                               | 7,12E+01           | 4,49E-06 | 1,75E-01           | 2,15E-02                         | 2,12E-02           | 8,73E+02 | 7,59E+01 |
| A.1.b     | 3,99E-01                               | 7,62E+01           | 4,80E-06 | 2,18E-01           | 1,79E-02                         | 2,27E-02           | 8,75E+02 | 8,21E+01 |
| A.1.c     | 4,48E-01                               | 5,61E+01           | 5,50E-06 | 2,20E-01           | 1,63E-02                         | 2,76E-02           | 1,02E+03 | 4,22E+02 |
| A.2.a     | 3,40E-01                               | 6,16E+01           | 3,75E-06 | 1,51E-01           | 2,04E-02                         | 1,82E-02           | 7,64E+02 | 6,43E+01 |
| A.2.b     | 3,43E-01                               | 6,61E+01           | 4,05E-06 | 1,92E-01           | 1,60E-02                         | 1,96E-02           | 7,53E+02 | 7,04E+01 |
| A.2.c     | 4,25E-01                               | 4,39E+01           | 5,04E-06 | 2,12E-01           | 1,58E-02                         | 2,65E-02           | 9,82E+02 | 4,98E+02 |
| A.3.a     | 3,22E-01                               | 5,71E+01           | 3,44E-06 | 1,42E-01           | 2,04E-02                         | 1,68E-02           | 7,23E+02 | 5,87E+01 |
| A.3.b     | 3,19E-01                               | 6,11E+01           | 3,72E-06 | 1,80E-01           | 1,52E-02                         | 1,81E-02           | 6,99E+02 | 6,47E+01 |
| A.3.c     | 4,01E-01                               | 3,89E+01           | 4,71E-06 | 2,00E-01           | 1,50E-02                         | 2,50E-02           | 9,28E+02 | 4,92E+02 |
| B.1.a     | 3,52E-01                               | 7,26E+01           | 3,92E-06 | 1,64E-01           | 2,17E-02                         | 2,05E-02           | 8,14E+02 | 7,43E+01 |
| B.1.b     | 3,43E-01                               | 7,60E+01           | 4,19E-06 | 2,01E-01           | 1,57E-02                         | 2,16E-02           | 7,77E+02 | 8,01E+01 |
| B.1.c     | 4,26E-01                               | 5,39E+01           | 5,19E-06 | 2,20E-01           | 1,55E-02                         | 2,85E-02           | 1,01E+03 | 5,07E+02 |
| B.2.a     | 3,02E-01                               | 6,31E+01           | 3,19E-06 | 1,40E-01           | 2,07E-02                         | 1,75E-02           | 7,05E+02 | 6,27E+01 |
| B.2.b     | 3,08E-01                               | 6,89E+01           | 3,56E-06 | 1,91E-01           | 1,56E-02                         | 1,94E-02           | 6,98E+02 | 7,04E+01 |
| B.2.c     | 3,70E-01                               | 4,38E+01           | 4,44E-06 | 1,94E-01           | 1,36E-02                         | 2,54E-02           | 8,84E+02 | 4,96E+02 |
| C.1.a     | 1,18E-01                               | 1,01E+02           | 3,32E-06 | 3,59E-01           | 2,06E-02                         | 7,22E-02           | 7,52E+02 | 8,12E+01 |
| C.1.b     | 1,25E-01                               | 1,03E+02           | 3,49E-06 | 3,81E-01           | 1,92E-02                         | 7,31E-02           | 7,59E+02 | 8,44E+01 |
| C.1.c     | 1,33E-01                               | 9,44E+01           | 3,69E-06 | 3,74E-01           | 1,77E-02                         | 7,44E-02           | 7,94E+02 | 2,11E+02 |
| C.1.e     | 4,40E-03                               | 6,64E+01           | 1,96E-06 | 2,98E-01           | 1,35E-02                         | 6,35E-02           | 4,86E+02 | 6,01E+01 |
| C.2.a     | 1,18E-01                               | 1,01E+02           | 3,32E-06 | 3,59E-01           | 2,06E-02                         | 7,22E-02           | 7,75E+02 | 9,44E+01 |
| C.2.b     | 1,25E-01                               | 1,03E+02           | 3,49E-06 | 3,81E-01           | 1,92E-02                         | 7,31E-02           | 7,82E+02 | 9,76E+01 |
| C.2.c     | 1,33E-01                               | 9,44E+01           | 3,69E-06 | 3,74E-01           | 1,77E-02                         | 7,44E-02           | 8,17E+02 | 2,24E+02 |
| C.2.e     | 4,40E-03                               | 6,64E+01           | 1,96E-06 | 2,98E-01           | 1,35E-02                         | 6,35E-02           | 4,86E+02 | 6,01E+01 |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

A partir dos resultados obtidos, o Quadro 70 apresenta a relação dos melhores e piores valores encontrados de cada indicador, para as respectivas soluções estudadas, de forma a clarificar os resultados alcançados. Os melhores

valores indicam que o impacto ambiental é menor, enquanto que os piores valores indicam que o impacto ambiental é maior. Porém, para o indicador ER o cenário se inverte, visto que ER identifica o consumo de energia de fontes renováveis, ou seja, um bom indicador sem expressar impactos ambientais negativos. Portanto, para ER os melhores valores indicam que o impacto ambiental positivo é maior, enquanto que os piores valores indicam que o impacto ambiental positivo é menor.

**Quadro 70 – Melhores e piores valores da avaliação do ciclo de vida das soluções.**

| Indicador ambiental | Melhor   |               | Pior     |               |
|---------------------|----------|---------------|----------|---------------|
|                     | valor    | solução       | valor    | solução       |
| ADP (Sb)            | 4,40E-03 | C.1.e   C.2.e | 4,48E-01 | A.1.c         |
| GWP (CO2)           | 3,89E+01 | A.3.c         | 1,03E+02 | C.1.b   C.2.b |
| ODP (CFC-11)        | 1,96E-06 | C.1.e   C.2.e | 5,50E-06 | A.1.c         |
| AP (SO2)            | 1,40E-01 | B.2.a         | 3,81E-01 | C.1.b   C.2.b |
| POCP (C2H4)         | 1,35E-02 | C.1.e   C.2.e | 2,17E-02 | B.1.a         |
| EP (PO4)            | 1,68E-02 | A.3.a         | 7,44E-02 | C.1.c   C.2.c |
| ENR MJ              | 4,86E+02 | C.1.e   C.2.e | 1,02E+03 | A.1.c         |
| ER MJ               | 5,07E+02 | B.1.c         | 5,87E+01 | A.3.a         |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [25]).

### 4.3 Análise económica

Seguindo a metodologia deste estudo, neste capítulo será apresentado a análise económica das soluções, através dos valores fornecidos pela ferramenta informática Gerador de Preços. É importante destacar que os valores são aproximados e próximos a realidade e podem haver algumas variações de acordo com o real presente no mercado.

O Quadro 71 apresenta um resumo dos preços coletados de todos os materiais utilizados. Tais custos representam o valor de material e mão de obra relativo ao m<sup>2</sup> de cada um.

**Quadro 71 – Valores dos materiais em estudo.**

| <b>Material</b>                      | <b>Valor (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Argamassa de cimento exterior        | 27,21 €                        |
| Argamassa de cimento interior        | 25,21 €                        |
| Argamassa térmica exterior           | 27,74 €                        |
| Argamassa térmica interior           | 25,74 €                        |
| Tijolo exterior (30x20x22)           | 27,06 €                        |
| Tijolo exterior (30x20x15)           | 23,32 €                        |
| Tijolo exterior (30x20x11)           | 21,81 €                        |
| Tijolo interior (30x20x11)           | 18,66 €                        |
| Tijolo em parede p/ Etics (30x20x15) | 44,17 €                        |
| Tijolo em parede p/ Etics (30x20x22) | 50,88 €                        |
| Bloco Megatérmico Artebel            | 64,76 €                        |
| Bloco Termoacústico Artebel          | 57,82 €                        |
| Rede de fibra de vidro               | 1,02 €                         |
| EPS (65mm)                           | 16,08 €                        |
| EPS (70mm)                           | 16,71 €                        |
| EPS (75mm)                           | 17,34 €                        |
| EPS em Etics (30mm)                  | 8,30 €                         |
| EPS em Etics (80mm)                  | 12,41 €                        |
| Lã de rocha (80mm)                   | 21,13 €                        |
| Lã de rocha em Etics (40mm)          | 16,37 €                        |
| Lã de rocha em Etics (80mm)          | 26,76 €                        |
| Lã de rocha em Etics (100mm)         | 31,91 €                        |
| ICB (80mm)                           | 32,69 €                        |
| ICB (100mm)                          | 39,19 €                        |
| ICB em Etics (30mm)                  | 25,89 €                        |
| ICB em Etics (100mm)                 | 49,71 €                        |

Fonte: O autor (Valores obtidos a partir de [77]).

O Quadro 72 apresenta os valores relativos para cada solução em estudo, levando em consideração o somatório de todos os materiais que constituem cada configuração de parede, informados no Quadro 71.

**Quadro 72 – Valores das soluções em estudo.**

| <b>Soluções</b> |   | <b>Valor (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|---|--------------------------------|
| A.1.a           | Parede dupla - 22+11 cm com EPS                             | 114,22 €                       |
| A.1.b           | Parede dupla - 22+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 119,27 €                       |
| A.1.c           | Parede dupla - 22+11 cm com ICB                             | 130,83 €                       |
| A.2.a           | Parede dupla - 15+11 cm com EPS                             | 111,11 €                       |
| A.2.b           | Parede dupla - 15+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 115,53 €                       |
| A.2.c           | Parede dupla - 15+11 cm com ICB                             | 133,59 €                       |
| A.3.a           | Parede dupla - 11+11 cm com EPS                             | 110,23 €                       |
| A.3.b           | Parede dupla - 11+11 cm com LÃ DE ROCHA                     | 114,02 €                       |
| A.3.c           | Parede dupla - 11+11 cm com ICB                             | 132,08 €                       |
| B.1.a           | Parede ETICS - 22 cm com EPS                                | 116,73 €                       |
| B.1.b           | Parede ETICS - 22 cm com LÃ DE ROCHA                        | 131,08 €                       |
| B.1.c           | Parede ETICS - 22 cm com ICB                                | 154,03 €                       |
| B.2.a           | Parede ETICS - 15 cm com EPS                                | 110,02 €                       |
| B.2.b           | Parede ETICS - 15 cm com LÃ DE ROCHA                        | 129,52 €                       |
| B.2.c           | Parede ETICS - 15 cm com ICB                                | 147,32 €                       |
| C.1.a           | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com EPS           | 126,50 €                       |
| C.1.b           | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com LÃ DE ROCHA   | 134,57 €                       |
| C.1.c           | Bloco Megatérmico Artebel – sistema ETICS com ICB           | 144,09 €                       |
| C.1.e           | Bloco Megatérmico Artebel com reboco térmico                | 118,24 €                       |
| C.2.a           | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com EPS         | 119,56 €                       |
| C.2.b           | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com LÃ DE ROCHA | 127,63 €                       |
| C.2.c           | Bloco Termoacústico Artebel – sistema ETICS com ICB         | 137,15 €                       |
| C.2.e           | Bloco Termoacústico Artebel com reboco térmico              | 111,30 €                       |

Fonte: O autor.

Diante dos valores calculados para cada solução, é possível observar que a solução com menor custo é a B.2.a composta por parede Etics com tijolo de 30x20x15 cm e isolamento em EPS. E a solução com maior custo é a B.1.c composta por parede Etics com tijolo de 30x20x22 cm e isolamento em ICB.

#### 4.4 Normalização dos resultados

Para encontrar um nível de sustentabilidade global será utilizado a metodologia MARS-SC, a fim de encontrar qual solução é realmente mais sustentável considerando os três parâmetros estudados, ambientais, térmicos e económicos. Primeiramente será realizado a normalização individual dos resultados encontrados para cada parâmetro, através da Equação 6 do capítulo 2.4.

##### 4.4.1 Análise de desempenho térmico e sua normalização

Para normalizar os parâmetros de comportamento térmico, seguindo a metodologia MARS-SC, será utilizada a Equação 6. Para tal, foi identificado de entre todos os resultados do coeficiente de transmissão térmica  $U$  das soluções qual foi o melhor valor ( $P^*i$ ) e qual foi o pior ( $P_*i$ ), a fim de normalizar os resultados num intervalo de 0 a 1, onde 0 é a solução que apresenta pior resultado e 1 atribuído à solução que apresenta o melhor valor.

O Quadro 73 irá apresentar o melhor valor e o pior valor encontrado para  $U$  dentre todas as soluções, e a diferença entre eles para utilizar no cálculo da Equação 6. Para esse parâmetro deve-se considerar que, quanto menor é o valor de  $U$  o desempenho da parede se torna melhor, e vice e versa.

**Quadro 73 – Melhores e piores valores de  $U$ .**

|               | <b>Coeficiente de transmissão térmica (<math>U</math>)</b> |
|---------------|--|
| $P^*i$        | 0,27   |
| $P_*i$        | 0,35   |
| $P^*i - P_*i$ | <b>-0,08</b>   |

Fonte: O autor.

Através da ferramenta informática excel, o Quadro 74 apresenta os valores normalizados para o coeficiente de transmissão térmica.

**Quadro 74 – Normalização dos resultados para U.**

| <b>Soluções</b> | <b>Normalização de resultados com base na comparação entre os coeficiente de transmissão térmica (U)</b> |
|-----------------|--|
| A.1.a           | 0,13   |
| A.1.b           | 0,47   |
| A.1.c           | 0,16   |
| A.2.a           | 0,02   |
| A.2.b           | 0,18   |
| A.2.c           | 0,49   |
| A.3.a           | 0,04   |
| A.3.b           | 0,00   |
| A.3.c           | 0,33   |
| B.1.a           | 0,29   |
| B.1.b           | 0,05   |
| B.1.c           | 0,38   |
| B.2.a           | 0,19   |
| B.2.b           | 0,47   |
| B.2.c           | 0,08   |
| C.1.a           | 0,80   |
| C.1.b           | 1,00   |
| C.1.c           | 0,64   |
| C.1.e           | 0,72   |
| C.2.a           | 0,23   |
| C.2.b           | 0,49   |
| C.2.c           | 0,01   |
| C.2.e           | 0,12   |

Fonte: O autor.

Diante dos resultados foi possível visualizar que as soluções que mais se aproximam do valor próximo de 1, e que representam as que possuem resultados mais satisfatórios, nomeadamente C.1.a, C.1.b e C.1.e. As demais são aceitáveis, porém, como as soluções com o bloco térmico se mostraram mais eficientes termicamente ganharam destaque nos resultados.

#### 4.4.2 Análise de desempenho ambiental e sua normalização

Para normalizar os parâmetros de impacto ambiental, seguindo a metodologia MARS-SC, será utilizada a Equação 6. Para tal, foi identificado de entre todos os resultados de cada índice de impacto ambiental qual foi o melhor valor ( $P^*i$ ) de cada índice e qual foi o pior ( $P_*i$ ), a fim de normalizar os resultados num intervalo de 0 a 1, onde 0 é a solução que apresenta pior resultado e 1 atribuído à solução que apresenta o melhor valor.

O Quadro 75 irá apresentar o melhor valor e o pior valor para os índices ADP, GWP, ODP, AP, POCP, EP, ENR e ER e a diferença entre estes para utilizar no cálculo da Equação 6.

**Quadro 75 – Melhores e piores valores do desempenho de impacto ambiental.**

|               | ADP       | GWP       | ODP       | AP        | POCP      | EP        | ENR       | ER       |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| $P^*i$        | 4,40E-03  | 3,89E+01  | 1,96E-06  | 1,40E-01  | 1,35E-02  | 1,68E-02  | 4,86E+02  | 5,07E+02 |
| $P_*i$        | 4,48E-01  | 1,03E+02  | 5,50E-06  | 3,81E-01  | 2,17E-02  | 7,44E-02  | 1,02E+03  | 5,87E+01 |
| $P^*i - P_*i$ | -4,44E-01 | -6,45E+01 | -3,54E-06 | -2,41E-01 | -8,27E-03 | -5,76E-02 | -5,37E+02 | 4,49E+02 |

Fonte: O autor.

Através da ferramenta informática excel, o Quadro 76 apresenta os valores normalizados para os impactos ambientais analisados de cada solução. É visto que cada solução possui 8 diferentes impactos ambientais para este estudo, porém, a fim de obter um único resultado geral das categorias de impacto ambiental, será calculado, na última coluna do Quadro 76, a média ponderada dos impactos para cada solução, a partir dos indicadores normalizados e atribuindo peso igual para cada indicador, segundo a literatura [27].

**Quadro 76 – Normalização dos resultados para os impactos ambientais.**

| Soluções | Categorias de impacto ambiental |      |      |      |      |      |      |      | Normalização de resultados com base nos indicadores de impacto ambiental |
|----------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|          | ADP                             | GWP  | ODP  | AP   | POCP | EP   | ENR  | ER   |  |
| A.1.a    | 0,13                            | 0,50 | 0,28 | 0,85 | 0,03 | 0,92 | 0,28 | 0,04 | <b>0,38</b>  |
| A.1.b    | 0,11                            | 0,42 | 0,20 | 0,68 | 0,46 | 0,90 | 0,28 | 0,05 | <b>0,39</b>  |
| A.1.c    | 0,00                            | 0,73 | 0,00 | 0,67 | 0,66 | 0,81 | 0,00 | 0,81 | <b>0,46</b>  |
| A.2.a    | 0,24                            | 0,65 | 0,49 | 0,95 | 0,17 | 0,98 | 0,48 | 0,01 | <b>0,50</b>  |
| A.2.b    | 0,24                            | 0,58 | 0,41 | 0,78 | 0,70 | 0,95 | 0,50 | 0,03 | <b>0,52</b>  |
| A.2.c    | 0,05                            | 0,92 | 0,13 | 0,70 | 0,71 | 0,83 | 0,08 | 0,98 | <b>0,55</b>  |
| A.3.a    | 0,29                            | 0,72 | 0,58 | 0,99 | 0,16 | 1,00 | 0,56 | 0,00 | <b>0,54</b>  |
| A.3.b    | 0,29                            | 0,66 | 0,50 | 0,83 | 0,79 | 0,98 | 0,60 | 0,01 | <b>0,58</b>  |
| A.3.c    | 0,11                            | 1,00 | 0,22 | 0,75 | 0,81 | 0,86 | 0,18 | 0,97 | <b>0,61</b>  |
| B.1.a    | 0,22                            | 0,48 | 0,44 | 0,90 | 0,00 | 0,94 | 0,39 | 0,03 | <b>0,42</b>  |
| B.1.b    | 0,24                            | 0,42 | 0,37 | 0,75 | 0,73 | 0,92 | 0,46 | 0,05 | <b>0,49</b>  |
| B.1.c    | 0,05                            | 0,77 | 0,09 | 0,67 | 0,75 | 0,80 | 0,03 | 1,00 | <b>0,52</b>  |
| B.2.a    | 0,33                            | 0,63 | 0,65 | 1,00 | 0,13 | 0,99 | 0,59 | 0,01 | <b>0,54</b>  |
| B.2.b    | 0,31                            | 0,54 | 0,55 | 0,79 | 0,74 | 0,96 | 0,61 | 0,03 | <b>0,56</b>  |
| B.2.c    | 0,18                            | 0,92 | 0,30 | 0,77 | 0,99 | 0,85 | 0,26 | 0,97 | <b>0,66</b>  |
| C.1.a    | 0,75                            | 0,04 | 0,61 | 0,09 | 0,14 | 0,04 | 0,51 | 0,05 | <b>0,28</b>  |
| C.1.b    | 0,73                            | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 0,30 | 0,02 | 0,49 | 0,06 | <b>0,27</b>  |
| C.1.c    | 0,71                            | 0,14 | 0,51 | 0,03 | 0,49 | 0,00 | 0,43 | 0,34 | <b>0,33</b>  |
| C.1.e    | 1,00                            | 0,57 | 1,00 | 0,35 | 1,00 | 0,19 | 1,00 | 0,00 | <b>0,64</b>  |
| C.2.a    | 0,75                            | 0,04 | 0,61 | 0,09 | 0,14 | 0,04 | 0,46 | 0,08 | <b>0,28</b>  |
| C.2.b    | 0,73                            | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 0,30 | 0,02 | 0,45 | 0,09 | <b>0,27</b>  |
| C.2.c    | 0,71                            | 0,14 | 0,51 | 0,03 | 0,49 | 0,00 | 0,39 | 0,37 | <b>0,33</b>  |
| C.2.e    | 1,00                            | 0,57 | 1,00 | 0,35 | 1,00 | 0,19 | 1,00 | 0,00 | <b>0,64</b>  |

Fonte: O autor.

Diante dos resultados foi possível visualizar que as soluções que mais se aproximaram do valor próximo de 1, e que representam as que possuem resultados mais satisfatórios, nomeadamente B.2.c, C.1.e e C.2.e. Enquanto as soluções que ficaram mais próximas de 0 são as soluções C.1.a, C.1.b, C.1.c, C.2.a, C.2.b e C.2.c, representando piores resultados no cálculo.

#### 4.4.3 Análise de desempenho económico e sua normalização

Para normalizar os parâmetros económicos, seguindo a metodologia MARS-SC, será utilizada a Equação 6. Para tal, foi identificado de entre todos os valores em euros das soluções qual foi o melhor valor, ou seja mais barato, ( $P^*i$ ) e qual foi o pior, ou seja mais caro, ( $P_*i$ ), a fim de normalizar os resultados num intervalo de 0 a 1, onde 0 é a solução que apresenta pior resultado e 1 atribuído à solução que apresenta o melhor valor.

O Quadro 77 irá apresentar o melhor valor e o pior valor encontrado para o custo das soluções, e a diferença entre eles para utilizar no cálculo da Equação 6.

**Quadro 77 – Melhores e piores valores de análise económica.**

|               | <b>Análise económica</b> |
|---------------|--------------------------|
| $P^*i$        | 110,02                   |
| $P_*i$        | 154,03                   |
| $P^*i - P_*i$ | <b>-44,01</b>            |

Fonte: O autor.

Através da ferramenta informática excel, o Quadro 78 apresenta os valores normalizados para a análise económica.

**Quadro 78 – Normalização dos resultados para a análise económica.**

| <b>Soluções</b> | <b>Normalização de resultados com base na comparação entre valores (€/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|--|
| A.1.a           | 0,90   |
| A.1.b           | 0,79   |
| A.1.c           | 0,53   |
| A.2.a           | 0,98   |
| A.2.b           | 0,87   |
| A.2.c           | 0,46   |
| A.3.a           | 1,00   |
| A.3.b           | 0,91   |
| A.3.c           | 0,50   |
| B.1.a           | 0,85   |
| B.1.b           | 0,52   |
| B.1.c           | 0,00   |
| B.2.a           | 1,00   |
| B.2.b           | 0,56   |
| B.2.c           | 0,15   |
| C.1.a           | 0,63   |
| C.1.b           | 0,44   |
| C.1.c           | 0,23   |
| C.1.e           | 0,81   |
| C.2.a           | 0,78   |
| C.2.b           | 0,60   |
| C.2.c           | 0,38   |
| C.2.e           | 0,97   |

Fonte: O autor.

Diante dos resultados foi possível visualizar que as soluções que mais se aproximaram do valor próximo de 1, e que representam as que possuem resultados mais satisfatórios, nomeadamente B.2.a, A.3.a, A.2.a e C.2.e. Enquanto as soluções que ficaram mais próximas de 0 são as soluções B.1.c, B.2.c e C.1.c, representando piores resultados no cálculo.

#### 4.4.4 Nível de sustentabilidade global

Com os resultados normalizados em cada parâmetro, é possível realizar o cálculo ponderado para o nível de sustentabilidade global (NS), levando em consideração a ponderação fornecida por [71] presente no Quadro 15 do capítulo 3.2.5, que indica os seguintes pesos para cada parâmetro: 40% para o parâmetro ambiental; 30% para o social (térnico); e 30% para o económico.

Para esse cálculo será considerado o cálculo do nível de sustentabilidade global fornecido pela metodologia MARS-SC, através da Equação 7 explicada no capítulo 2.4. Através da ferramenta informática excel, o Quadro 79 apresenta os resultados calculados para o nível de sustentabilidade global das soluções, seguindo a ponderação informada.

**Quadro 79 – Nível de sustentabilidade global das soluções.**

| Soluções | Indicadores |         |           | NS          |
|----------|-------------|---------|-----------|-------------|
|          | Ambiental   | Térnico | Económico |             |
| A.1.a    | 0,38        | 0,13    | 0,90      | <b>0,46</b> |
| A.1.b    | 0,39        | 0,47    | 0,79      | <b>0,53</b> |
| A.1.c    | 0,46        | 0,16    | 0,53      | <b>0,39</b> |
| A.2.a    | 0,50        | 0,02    | 0,98      | <b>0,50</b> |
| A.2.b    | 0,52        | 0,18    | 0,87      | <b>0,53</b> |
| A.2.c    | 0,55        | 0,49    | 0,46      | <b>0,51</b> |
| A.3.a    | 0,54        | 0,04    | 1,00      | <b>0,53</b> |
| A.3.b    | 0,58        | 0,00    | 0,91      | <b>0,51</b> |
| A.3.c    | 0,61        | 0,33    | 0,50      | <b>0,49</b> |
| B.1.a    | 0,42        | 0,29    | 0,85      | <b>0,51</b> |
| B.1.b    | 0,49        | 0,05    | 0,52      | <b>0,37</b> |
| B.1.c    | 0,52        | 0,38    | 0,00      | <b>0,32</b> |
| B.2.a    | 0,54        | 0,19    | 1,00      | <b>0,57</b> |
| B.2.b    | 0,56        | 0,47    | 0,56      | <b>0,53</b> |
| B.2.c    | 0,66        | 0,08    | 0,15      | <b>0,33</b> |
| C.1.a    | 0,28        | 0,80    | 0,63      | <b>0,54</b> |
| C.1.b    | 0,27        | 1,00    | 0,44      | <b>0,54</b> |
| C.1.c    | 0,33        | 0,64    | 0,23      | <b>0,39</b> |
| C.1.e    | 0,64        | 0,72    | 0,81      | <b>0,72</b> |
| C.2.a    | 0,28        | 0,23    | 0,78      | <b>0,42</b> |
| C.2.b    | 0,27        | 0,49    | 0,60      | <b>0,44</b> |

|       |      |      |      |             |
|-------|------|------|------|-------------|
| C.2.c | 0,33 | 0,01 | 0,38 | <b>0,25</b> |
| C.2.e | 0,64 | 0,12 | 0,97 | <b>0,58</b> |

Fonte: O autor.

Diante dos resultados apresentados no Quadro 79 é possível identificar que a solução mais sustentável encontrada neste estudo é a solução do tipo C, composta por bloco megatérmico da fabricante Artebel e argamassa de reboco térmico (C.1.e). Seu nível global de sustentabilidade resultou em 0,72 e é o valor que mais se aproxima do valor 1 que faz referência a melhor solução.

Esta solução só atingiu o resultado mais satisfatório a nível global de sustentabilidade pois apresentou bons resultados em todas as análises: térmica, ambiental e económica. Na análise térmica apresentou um valor de  $U = 0,296$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)], demonstrando ser uma boa solução a nível de capacidade térmica. Na análise ambiental esta solução apresentou os menores valores para os impactos ambientais ADP, ODP, POCP e ENR, demonstrando ser uma boa solução a nível ambiental. E na análise económica apresentou um custo de 118,24 € por m<sup>2</sup>, demonstrando ser uma solução com custo aceitável, visto que a solução mais barata tem custo de 110,02 € por m<sup>2</sup> e a mais cara 154,03 €/m<sup>2</sup>.

A segunda solução com elevado nível global de sustentabilidade é a nomeada C.2.e, com o NS = 0,58. Esta solução assemelha-se muito com a solução C.1.e, pois, são formadas pela mesma configuração de parede de alvenaria de bloco térmico e reboco térmico. Porém, o bloco termoacústico que compõe a solução C.2.e possui características térmicas inferiores ao bloco megatérmico que compõe a solução C.1.e e isso reflete nos resultados dos seus respectivos coeficientes de transmissão térmicas. Enquanto a solução C.1.e possui um valor de  $U = 0,296$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)], a solução C.2.e possui um valor de  $U = 0,342$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)], e isto demonstra que a eficiência térmica de C.2.e é inferior à C.1.e, visto que, quanto menor é o valor U maior é a capacidade de isolamento térmico de uma solução. Nas demais análises, a solução C.2.e apresenta bons resultados, ambientalmente apresentou os menores valores para os impactos ambientais ADP, ODP, POCP e ENR, demonstrando ser uma boa solução a nível

ambiental e apresentou um custo de 111,30 € por m<sup>2</sup>, demonstrando ser uma solução com custo aceitável.

Já a terceira solução é a nomeada B.2.a, com o nível global de sustentabilidade igual a 0,57. Esta é a solução com custo mais baixo, sendo 110,02 € por m<sup>2</sup>, e apresenta um desempenho térmico melhor do que a solução C.2.e, com valor de  $U = 0,337$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]. Porém, na análise ambiental, que possui maior peso para o cálculo do nível global de sustentabilidade, a solução B.2.a apresenta maiores valores para os impactos ambientais, resultando em um valor normalizado de 0,54, enquanto que as soluções C.1.e e C.2.e apresentam valores normalizados para a análise ambiental igual a 0,64.

Em oposição, a pior solução com o nível global de sustentabilidade mais próximo de 0 é nomeada C.2.c com resultado igual 0,25, sendo imediatamente a seguir a solução B.1.c e a B.2.c com valores de nível global de sustentabilidade iguais a 0,32 e 0,33 respectivamente.

## 5 Conclusões

### 5.1 Principais conclusões

Segundo o Painel Intergovernamental Sobre Mudança Do Clima 2023 (IPCC), é necessário implementar mudanças abrangentes em todos os setores e sistemas para atingir reduções significativas e duradouras nas gerações de impactos ambientais, em busca de um futuro sustentável para todos, através de opções viáveis, eficientes e de custo acessível [80].

Ao planejar o desenvolvimento urbano e sua infraestrutura é essencial considerar os impactos e riscos das mudanças climáticas. A eficiência da mitigação pode ser aprimorada em todas as fases, desde o projeto até a disposição das edificações. Isso inclui a adoção de materiais de construção de baixa emissão, revestimentos de construção altamente eficientes e a integração de soluções de energia renovável durante a construção [80].

Este estudo permite analisar o desenvolvimento constante da construção civil através de novos materiais e produtos, uma vez que, a solução com maior nível global de sustentabilidade é composta por materiais pensados e adaptados para as necessidades ambientais e energéticas da atualidade.

No decorrer deste estudo, ao atingir os objetivos propostos no início do trabalho, foi possível identificar a importância de promover e incentivar a utilização de métodos e ferramentas que avaliem a sustentabilidade dos materiais, priorizando uma escolha inteligente a nível ambiental, térmico e económico. Tais análises são essenciais na etapa de viabilização de um projeto, a fim de escolher de forma inteligente seus sistemas construtivos.

Através da aplicação da metodologia MARS-SC, este estudo permitiu uma análise a nível global da sustentabilidade voltada para materiais de isolamento térmico, considerando os três pilares da sustentabilidade e percebendo que, para construir e trabalhar de maneira positiva no desenvolvimento urbano é necessário priorizar o bem-estar dos usuários, equilibrar os custos de forma racional para quem os investe e zelar sempre pelo meio ambiente.

As análises realizadas nesta dissertação identificaram a opção construtiva composta pelo bloco megatérmico e reboco térmico como a melhor solução para uma envolvente exterior de um edifício localizado na zona de Bragança. Na análise térmica, o coeficiente de transmissão térmica desta solução está entre os três melhores resultados. Na análise ambiental esta solução é a que mais apresenta melhores resultados de impactos ambientais em diferentes categorias. E na análise económica a solução apresenta uma diferença de 8 € a mais em relação a solução mais barata.

## 5.2 Limitações do estudo

Para o desenvolvimento do trabalho, as limitações ocorreram no momento de considerar espessuras comerciais para os isolamentos térmicos, pois, em alguns casos, foi necessário considerar espessuras muito mais altas do que o mínimo necessário, e isso gera excesso de material, provocando maiores impactos ambientais, por necessitar de materiais mais espessos, porém resulta em maior conforto térmico para a solução, visto que uma maior espessura dificulta a condutibilidade térmica da solução, trazendo mais isolamento.

Para a análise económica dos materiais também foi identificado limitações, visto que, a ferramenta informática disponível apresenta limitações para identificar os preços dos materiais. Pode-se citar também pouca literatura disponível para o estudo da metodologia MARS-SC por ser uma técnica de estudos relativamente nova, porém muito interessante e útil para os dias atuais.

### 5.3 Futuras linhas de investigação

O presente trabalho pretende auxiliar pesquisadores quando o assunto se trata de sustentabilidade, incentivando outros estudantes a valorizarem essas análises construtivas e priorizarem esse assunto.

Este estudo pode ser utilizado como referencial bibliográfico para as investigações no âmbito da sustentabilidade, análise térmica para uma zona climática específica e aplicação da metodologia MARS-SC.

Como sugestão de estudos futuros propõem-se:

- A análise e seleção de outros elementos construtivos, como cobertura, pavimento e envolvente envidraçada;
- A análise de outras técnicas construtivas para parede exterior, como o “*Light Steel Framing*”;
- A análise do nível de sustentabilidade global de uma edificação específica que se pretende construir ou reabilitar.

## 6 Bibliografia

[1]: Serrão, Mônica, Aline Almeida, and Andrea Carestiato. *Sustentabilidade: uma questão de todos nós*. Editora Senac São Paulo, 2020.

[2]: Debali, Juan Carlos. "Desenvolvimento sustentável: evolução e indicadores de sustentabilidade." (2009).

[3]: Bragança, Luis. "SBTool Urban: Instrumento para a promoção da sustentabilidade urbana." *Singeburb-Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, 1st ed.; Anais SINGEURB* (2017).

[4]: dos Santos, Fladimir Fernandes, et al. "Práticas de sustentabilidade na construção civil: um estudo em empresas construtoras de edificações." *Organizações e Sustentabilidade* 8.2 (2020): 34-53.

[5]: Fiais, Bruna Barbosa, and Daniel Sarto de Souza. "Construção sustentável com tijolo ecológico." *Revista Engenharia em Ação UniToledo* 2.1 (2017).

[6]: do Nascimento, Emilli Rodrigues, Denilson Pedro Ferreira de Moraes, and Shara Carvalho Lopes. "Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura." *Research, Society and Development* 11.14 (2022): e524111436611-e524111436611.

[7]: Marques, Cristian Teixeira. "INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL." *IMPACT projects* 1.1 (2022): 75-88.

[8]: Alves, Cristiana Patrícia Teixeira. "Sustentabilidade de soluções de isolamento térmico. Proposta de indicadores ambientais, funcionais e económicos." (2021).

[9]: Mikhailova, Irina. "Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática." *Economia e Desenvolvimento* (2004).

[10]: de Oliveira, Rui Alexandre Figueiredo. "Metodologia de gestão de obras de reabilitação em centros urbanos históricos." (2013).

[11]: DALMAGO, Genei Antonio. "Sustentabilidade: reflexões sobre uso do termo e evolução de conceitos." (2021).

[12]: Santos, Filipe Duarte. "Os desafios ambientais criados pela grande aceleração do pós-guerra." *Nação e Defesa* (2009).

[13]: De Sousa, André Chagas, and Klaus de Oliveira Abdala. "Sustentabilidade, do conceito à análise." *Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)* 10.2 (2020): 146-166.

[14]: Montibeller Filho, Gilberto. "Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável; conceitos e princípios." *Textos de economia* 4.1 (1993): 131-142.

[15]: Cruz, Rennisy Rodrigues, José Roberto Galdino de Barros Filho, and Fabiano Duarte Machado. "MOVIMENTO AMBIENTALISTA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ORIGENS, PERSPECTIVAS E INFLUÊNCIAS." *SABERES AMBIENTAIS: REFLEXÕES SOBRE A RELAÇÃO SOCIEDADE-NATUREZA* (2020): 48.

[16]: Andrade, Joana Bonifácio. "Avaliação da sustentabilidade do edifício solar XXI= 21 utilizando a metodologia SBTool-PT." (2009).

[17]: Mateus, Ricardo. *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*, parte I. Diss. 2004.

[18]: Martins, Clitia Helena Backx, et al. "Da Rio-92 à Rio+ 20: avanços e retrocessos da agenda 21 no Brasil." *Indicadores Econômicos FEE* 42.3 (2015): 97-108.

[19]: Maniglia, Elisabete. *Direito, políticas públicas e sustentabilidade: temas atuais*. Cultura Acadêmica Editora, 2011.

[20]: Laruccia, Mauro Maia. "Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil." *Revista ENIAC pesquisa* 3.1 (2014): 69-84.

[21]: Lucas, Vanessa Silvério. *Construção sustentável-sistema de avaliação e certificação*. Diss. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

[22]: Roque, Rodrigo Alexander Lombardi, and Alexandre Coan Pierri. "Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil." *Research, society and development* 8.2 (2019): e3482703-e3482703.

[23]: Soares, Sebastião Roberto, DM de Souza, and Sibeli Warmiling Pereira. "A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil." *Coletânea Habitare* 7 (2006): 96-127.

[24]: Pinto, Isabel F. S. A. "Impacte ambiental de argamassas de desempenho térmico melhorado". 2015. 88 f. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Lisboa, 2015.

[25]: Bragança, L., and Ricardo Mateus. "Life-cycle analysis of buildings: environmental impact of building elements." (2012).

[26]: Brant, Fabiana. "Como avaliar o ciclo de vida para atender a ISO 14001:2015?". LinkedIn, 2017. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/como-avaliar-o-ciclo-de-vida-para-atender-iso-140012015-brant/?trackingId=lg9Z3sbxQoauhophzhS3y%2BQ%3D%3D>.

[27]: de Carvalho, Tiago Pedroso de Lima. "Análise Comparativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas." (2021).

[28]: Pinto, Carolina da Conceição Ferreira. *Avaliação do ciclo de vida de uma malha com base em algodão convencional versus algodão reciclado e comparação das suas características de qualidade*. Diss. 2022.

[29]: COLTRO, Leda, et al. "Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão." *Campinas: Cetea/Ital 1* (2007).

[30]: Tonon, Danielli Cecim da Silva. *Avaliação do ciclo de vida (ACV) dos concretos compostos com agregados graúdos de construção e demolição em diferentes teores de substituição*. MS thesis. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2020.

[31]: NP EN ISO 14040:2008 (Ed. 2) - *Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e enquadramento (ISO 14040:2006)*. 2008.

[32]: Basso, Thalyta Mayara, Carlos Eduardo Camargo Nogueira, and Danieli Sanderson Silva. "Eficiência energética na construção civil no Brasil." *Acta Iguazu* 4.1 (2015): 48-56.

[33]: Graça, Filipe Alexandre Antunes. *Eficiência energética em edifícios de serviços no Concelho de Almada*. Diss. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

[34]: Sousa, Joana RB, Sandra Monteiro Silva, and Manuela Guedes de Almeida. "Enquadramento energético do sector residencial português." (2012).

[35]: Altoé, Leandra, et al. "Políticas públicas de incentivo à eficiência energética." *Estudos Avançados* 31 (2017): 285-297.

[36]: Camargo, Luiz Fernando Sábio Xavier de. "Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações: Um estudo de caso na Biblioteca da UNESP de Guaratinguetá." (2013): 73-f.

[37]: Viana, Carol Correia. "Estudo da eficiência energética em indústria avícola." (2020).

[38]: Dutra, Luciano, Roberto Lamberts, and F. Pereira. "Eficiência energética na arquitetura." *São Paulo: PW* (1997): 81-93.

[39]: Nogueira, Carlos Eduardo Camargo, and Fabiele Aparecida Bombonato. "ESTUDOS SOBRE A ENERGIA ELETRICA, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL." *Revista Thêma et Scientia* 4.2 (2014).

[40]: Maia, Cristiano Nobre, et al. "EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA: MÉTODOS PARA REDUZIR CUSTOS EM EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR." *Encontro de Extensão, Docência e Iniciação Científica (EEDIC) 6* (2019).

[41]: Ganhão, António Miguel Ganço Dias. *Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Diss. FCT-UNL, 2011.

[42]: Albuquerque, Maria Menezes Almeida Bernardo. *Incentivos à eficiência energética dos edifícios residenciais: avaliação do caso Português*. Diss. 2022.

[43]: Ferreira, Maria Amaro Matoso Aguiar. *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Diss. FCT-UNL, 2009.

[44]: Sabarigo, João Pedro Ventura Orvalho Tirapicos. *Contributo para a eficiência energética em obras de reabilitação de edifícios*. Diss. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

[45]: Rocha, Tiago José Catarino. *Impactos do incremento da eficiência energética no setor dos edifícios*. Diss. 2021.

[46]: da Silva Oliveira, Gabriel Fernando Passos. "PAREDES: SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS." (2023).

[47]: ISO 6946:2017, Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation methods.

[48]: Direção geral de energia e geologia. Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios. 254p.

[49]: Dos Santos, Carlos A. Pina, and Luis Matias. "ITE 50–Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios–Laboratório Nacional de Engenharia Civil." *Versão actualizada* (2006).

[50]: Portaria n.º 138-I/2021, de 01 de julho de 2021, Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação.

[51]: Neto, Vitor Emanuel Caldeira. "Aplicações modernas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) na construção." (2012).

[52]: Martins, João Abel Vinagre Correia. *Patologia em paredes de alvenaria de tijolo*. Diss. 2010.

[53]: Ferreira, Dino Manuel Szaplanczay Rodrigues. *Blocos térmicos com boa inércia térmica: projecto, desenvolvimento e ensaios do produto*. Diss. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2017.

[54]: Artebel. "Blocos Térmicos". Artebel Artefactos de Betão, S.A., 2021. Disponível em: <https://www.artebel.pt/produtos/blocos-termicos>.

[55]: Gomes, António Vilela. "COMPORTAMENTO TÉRMICO DE ELEMENTOS OPACOS-PAREDES." *RICTS| Revista Internacional de Ciências, Tecnologia e Sociedade* 2.4 (2019): 1-17.

[56]: Grote, Zilmara V., and José L. Silveira. "Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)." *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação* 3.3 (2002).

[57]: Ass. Bras. Poliest. Exp., "Manual utilização - EPS na construção civil", Pini, S. Paulo (2006).

[58]: Passos, P. M., and H. Carasek. "Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto." *Cerâmica* 64 (2018): 577-588.

[59]: Sistemas ETICS. "EPS vs EPS GRAFITE". Sistemas ETICS, 2023. Disponível em: <https://www.sistemasetics.pt/eps.html>.

[60]: Luoto, Kirsi, et al. "Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture." *Environmental Research* 78.1 (1998): 25-37.

[61]: Cheng, An, Wei-Ting Lin, and Ran Huang. "Application of rock wool waste in cement-based composites." *Materials & Design* 32.2 (2011): 636-642.

[62]: Rodrigues, Girley Ferreira, et al. "Fabricação de lã de rocha a partir da escória da produção de ligas FeSiMn." *Cerâmica* 58 (2012): 529-533.

[63]: LA ROCHA, Indústria e Comércio de Fibras Minerai LTDA. Apresentação Lã de Rocha. 2017.

[64]: Mendes, Henrique Gonçalves. "Isolantes sustentáveis: estudo para viabilidade de fabricação de isolante térmico e acústico a partir dos resíduos de lã de rocha e de poliuretano." *Engenharia Química-Tubarão* (2017).

[65]: Termolan. "O que é a lã de rocha?". Termolan Isolamentos Termo-Acústicos, S.A., 2016. Disponível em: <https://termolan.pt/>.

[66]: Romão, Maria do Rosário Firmino de Almeida. *Contribuição do isolamento térmico para o aumento da eficiência energética em edifícios*. Diss. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.

[67]: Coelho, Inocência Seita, and Miguel Pestana. "A Fileira da Cortiça em Portugal—Posicionamento e Competitividade." *Silva Lusitana* 29.1 (2021): 73-100.

[68]: Soluções Acústicas. "Aglomerado de cortiça expandida standard". Soluções Acústicas, 2022. Disponível em: <https://isoldb.com/loja/solucoes-acusticas/cortiça/aglomerado-de-cortiça/>.

[69]: Secil. "Isodur One". SECIL Portugal, 2023. Disponível em: <https://www.secil.pt/pt/produtos/argamassas/reboco-termico/isodur-one>.

[70]: Correia, Ana Rita Duarte. *Avaliação do potencial de utilização de fibras de PET em materiais e soluções construtivas na indústria AEC*. Diss. 2021.

[71]: da Silva Mateus, Ricardo Filipe Mesquita. *Avaliação da Sustentabilidade na Construção: Propostas Para o Desenvolvimento de Edifícios Mais Sustentáveis*. Diss. Universidade do Minho (Portugal), 2009.

[72]: Pereira, Marcelo José Branquinho. *Avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas para a reabilitação da envolvente exterior dos edifícios*. Diss. Universidade do Minho (Portugal), 2015.

[73]: Gerhardt, Tatiana Engel, and Denise Tolfo Silveira. *Métodos de pesquisa*. Plageder, 2009.

[74]: Fellows, Richard F., and Anita MM Liu. *Research methods for construction*. John Wiley & Sons, 2021.

[75]: Silva, Antônio João Hocayen da. "Metodologia de pesquisa: conceitos gerais." (2014).

[76]: Fibran. "Fachada com parede dupla". Fibran S.A., 2023. Disponível em: <https://fibran.pt/solucoes-produtos/fachadas/fachada-murada/>.

[77]: Cype. "Gerador de Preços". CYPE Portugal, Software para Engenharia e Construção. Disponível em: "<http://geradordeprecos.cype.pt/>".

[78]: Câmara Municipal. "O município de Bragança". Câmara Municipal, 2023. Disponível em: <https://www.camara-municipal.pt/municipio-braganca.html>.

[80]: IPCC. "Intergovernmental Panel on Climate Change", 2023. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf).

## 7 Anexos

Anexo I – Capítulo 5 do Manual SCE [48].

Anexo II – Catálogo do fabricante Artebel [54].

Anexo III - Catálogo do fabricante Secil [69].

# **ANEXO I**

Capítulo 5 do Manual SCE [48]

## 5. LOCALIZAÇÃO, ENTORNO E CLIMA

Para efeitos da avaliação do DEE deve ter-se em conta a envolvência do edifício, onde se inclui os parâmetros relativos à localização, entorno e clima.

### 5.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício deve ser devidamente caracterizado de acordo com os parâmetros geográficos seguintes:

- Coordenadas cartesianas;
- Altitude;
- Morada postal.

### 5.2 ENTORNO

Para efeitos da avaliação do DEE devem ser definidos os seguintes elementos:

- Região do território;
- Rugosidade;
- Classe de proteção da fachada.

#### 5.2.1 REGIÃO DO TERRITÓRIO

Os edifícios devem ser associados a uma de duas regiões (A ou B), de acordo com as características previstas nas alíneas seguintes:

- a) Região A – Todo o território Nacional, exceto os locais pertencentes à região B;
- b) Região B – Região Autónoma da Madeira, Região Autónoma dos Açores e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou com altitude superior a 600 m.

A medição da distância à costa deve ser efetuada mediante uma linha reta que una a localização do edifício ao ponto mais próximo da costa, devendo, para o caso dos estuários, considerar-se a distância ao prolongamento da linha da costa, conforme Figura 5.



Figura 5 – Medição da distância à costa em estuário (Fonte: Google Earth)

### 5.2.2 RUGOSIDADE

A rugosidade do local, onde o edifício se insere, deve ser caracterizada nos termos da tabela seguinte e conforme os exemplos constantes na Figura 6.

Tabela 5 – Rugosidade

| Rugosidade                   | Características   |
|------------------------------|---|
| Rugosidade I                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Edifícios inseridos no interior de uma zona urbana</li> </ul>  |
| Rugosidade II <sup>(1)</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Edifícios não enquadrados nas rugosidades I ou III</li> <li>Edifícios inseridos na periferia das zonas com rugosidade I ou III</li> </ul>  |
| Rugosidade III               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Edifícios inseridos na primeira linha numa faixa de 1 km de largura junto à costa, incluindo zona de estuário</li> <li>Edifícios inseridos em zonas muito expostas, mediante a inexistência de obstáculos que atenuem a ação do vento</li> </ul> |

(1) Nas situações de dúvida entre considerar uma rugosidade I ou II, deve ser considerada a rugosidade I  
 Nas situações de dúvida entre considerar uma rugosidade II ou III, deve ser considerada a rugosidade II



Figura 6 – Exemplos de rugosidade

### 5.2.3 CLASSE DE PROTEÇÃO DA FACHADA

A classe de proteção das fachadas relativamente à ação do vento deve ser determinada em função da relação entre a distância do edifícios aos obstáculos e a altura destes, conforme Tabela 6 e Figura 7, sendo esta aplicável quando verificadas as condições previstas nas alíneas a) ou b).

$$a) H_{FA} \leq 15 \wedge H_{obs} \geq 0,5 \times \text{mínimo} (H_{edif}; 15) [m]$$

$$b) 15 < H_{FA} < 50 \wedge H_{obs} \geq 15 + 0,5 \times \text{mínimo} (H_{edif} - 15; 35) [m]$$

Nas situações não previstas nas alíneas anteriores, bem como na ausência de obstáculos ou informação relativa a algumas das distâncias, a classe de proteção deve ser considerada como “desprotegido”.

Tabela 6 – Classe de proteção ao vento

| Protegido               | Normal                            | Desprotegido          |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| $D_{obs}/H_{obs} < 1,5$ | $1,5 \leq D_{obs}/H_{obs} \leq 4$ | $D_{obs}/H_{obs} > 4$ |

Em que:

$H_{edif}$  – Altura do edifício em estudo, correspondente à maior distância vertical entre o ponto do teto da fração mais elevada do edifício (nível da cobertura) e o nível do terreno [m];

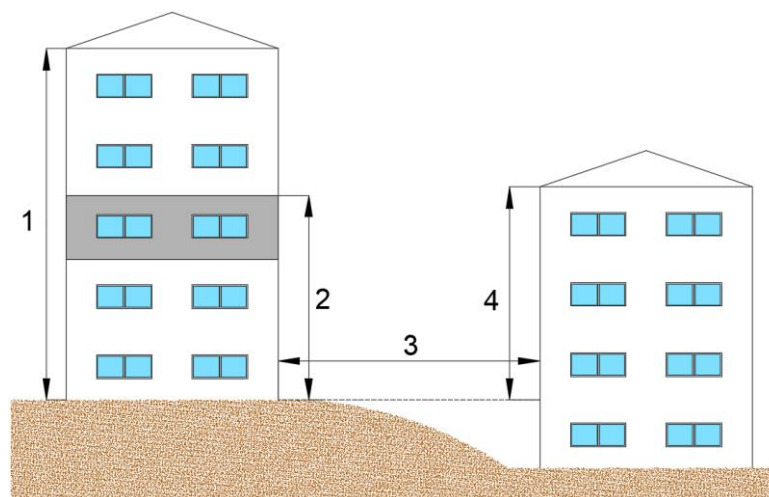
$H_{obs}$  – Altura do obstáculo/edifício situado em frente à fachada correspondente à maior distância entre o ponto mais alto da fachada (nível da cobertura) do obstáculo e o nível do terreno do edifício em estudo [m];

$D_{obs}$  – Distância ao obstáculo, correspondente à maior distância entre a fachada do edifício em estudo e a fachada do obstáculo/edifício situado em frente [m];

$H_{FA}$  – Altura da fração em estudo, correspondente à maior distância vertical entre o teto da fração e o nível do terreno [m].

Nas situações em que se verifique a existência de múltiplos obstáculos, deve ser considerado aquele que apresente maior distância ( $D_{obs}$ ) à fachada do edifício, analisando-se todas as fachadas com dispositivos que afetem a ventilação dos espaços, designadamente, vãos envidraçados, grelhas ou aberturas.

Na impossibilidade de parametrizar devidamente  $H_{edif}$ ,  $H_{obs}$  ou  $H_{FA}$ , deve ser considerada uma altura de 3 metros por piso.



- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1 – Altura do edifício ( $H_{edif}$ ) | 3 – Distância ao obstáculo ( $D_{obs}$ ) |
| 2 – Altura da fração ( $H_{FA}$ )     | 4 – Altura do obstáculo ( $H_{obs}$ )    |

Figura 7 – Dimensões para avaliação da classe de proteção ao vento

### 5.3 CLIMA

A avaliação do DEE varia em função do clima e das respetivas variáveis que o influenciam. Para tal, deve ser definida a respetiva nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS) de nível III, em função do concelho onde o edifício se localiza, conforme Anexo II – NUTS III.

O edifício deve ser caracterizado em função da sua zona climática de inverno e verão, encontrando-se definidos três tipos para cada estação (I1, I2 e I3, para o inverno, e V1, V2 e V3, para o verão). As zonas climáticas são necessárias na verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e, no caso dos edifícios de habitação, dos indicadores de conforto térmico.

A zona climática de inverno é definida a partir do número de graus-dias ( $GD$ ) na estação de aquecimento, na base de 18 °C, conforme Tabela 7, enquanto a de verão é definida a partir da temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ), conforme Tabela 8.

Tabela 7 – Zona climática de inverno

| Critério               | $GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ | $1300 \text{ }^\circ\text{C} < GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C}$ | $GD > 1800 \text{ }^\circ\text{C}$ |
|------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| Zona climática inverno | I1                                    | I2  | I3                                 |

Tabela 8 – Zona climática de verão

| Critério             | $\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ | $20 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ }^\circ\text{C}$ | $\theta_{ext,v} > 22 \text{ }^\circ\text{C}$ |
|----------------------|---|---|--|
| Zona climática verão | V1  | V2  | V3   |

Nos edifícios de comércio e serviços, o DEE é avaliado num método horário, devendo o respetivo ficheiro climático ser obtido através do *software* SCE.CLIMA\_v1.0, disponível para descarregar no sítio eletrónico da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), mediante parametrização da altitude do local e do concelho.

### 5.3.1 PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Os valores dos parâmetros climáticos ( $X$ ) associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência ( $X_{REF}$ ) para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local ( $z$ ).

As correções de altitude são do tipo linear, com declive  $a$ , proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência ( $z_{REF}$ ) para a NUTS III, segundo a Equação 2.

$$X = X_{REF} + a \times (z - z_{REF}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$X$  – Parâmetro climático a corrigir;

$X_{REF}$  – Parâmetro climático à cota de referência;

$a$  – Declive que relaciona a diferença de altitudes [mês/km] ou [°C/km];

$z$  – Altitude do edifício [km];

$z_{REF}$  – Altitude de referência [km].

### 5.3.1.1 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUTS III, necessários à avaliação do DEE na estação de aquecimento, encontram-se previstos na Tabela 9, em que:

$GD$  – Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 °C [°C];

$M$  – Duração da estação de aquecimento [meses];

$\theta_{ext,i}$  – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];

$G_{sul}$  – Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento [kWh/(m<sup>2</sup>.mês)].

Tabela 9 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento

| NUTS III             | $z_{REF}$<br>m | $M$                |               | $GD$             |              | $\theta_{ext,i}$           |              | $G_{sul}$<br>kWh/<br>(m <sup>2</sup> .mês) |
|----------------------|----------------|--------------------|---------------|------------------|--------------|----------------------------|--------------|--|
|                      |                | $M_{REF}$<br>meses | $a$<br>mês/km | $GD_{REF}$<br>°C | $a$<br>°C/km | $\theta_{ext,i,REF}$<br>°C | $a$<br>°C/km |  |
| Alentejo Central     | 221            | 5,3                | 2             | 1 150            | 1 100        | 10,0                       | -4           | 150  |
| Alentejo Litoral     | 88             | 5,3                | 2             | 1 089            | 1 100        | 10,8                       | -2           | 150  |
| Algarve              | 145            | 4,8                | 0             | 987              | 1 800        | 11,3                       | -6           | 155  |
| Alto Alentejo        | 246            | 5,3                | 2             | 1 221            | 1 200        | 9,6                        | -3           | 145  |
| Alto Trás-os-Montes  | 680            | 7,3                | 0             | 2 015            | 1 400        | 5,5                        | -4           | 125  |
| Ave                  | 426            | 7,2                | 0             | 1 653            | 1 500        | 7,8                        | -6           | 125  |
| Baixo Alentejo       | 178            | 5,0                | 0             | 1 068            | 1 000        | 10,7                       | -2           | 155  |
| Baixo Mondego        | 67             | 6,3                | 0             | 1 304            | 1 000        | 9,7                        | -5           | 140  |
| Baixo Vouga          | 50             | 6,3                | 2             | 1 337            | 1 100        | 9,5                        | -5           | 140  |
| Beira Interior Norte | 717            | 7,5                | 0             | 1 924            | 1 000        | 6,3                        | -3           | 135  |
| Beira Interior Sul   | 328            | 5,4                | 1             | 1 274            | 1 800        | 9,1                        | -6           | 140  |
| Cávado               | 171            | 6,8                | 1             | 1 491            | 1 300        | 9,0                        | -6           | 125  |
| Cova da Beira        | 507            | 7,1                | 0             | 1 687            | 1 400        | 7,5                        | -5           | 140  |
| Dão-Lafões           | 497            | 7,3                | 0             | 1 702            | 1 900        | 7,5                        | -6           | 135  |
| Douro                | 579            | 6,9                | 0             | 1 764            | 1 400        | 6,3                        | -4           | 135  |

| NUTS III              | $Z_{REF}$<br>m | $M$                |               | $GD$             |              | $\theta_{ext,i}$           |              | $G_{sol}$<br>kWh/<br>(m <sup>2</sup> .mês) |
|-----------------------|----------------|--------------------|---------------|------------------|--------------|----------------------------|--------------|--|
|                       |                | $M_{REF}$<br>meses | $a$<br>mês/km | $GD_{REF}$<br>°C | $a$<br>°C/km | $\theta_{ext,i,REF}$<br>°C | $a$<br>°C/km |  |
| Entre Douro e Vouga   | 298            | 6,9                | 1             | 1 544            | 1 400        | 8,4                        | -5           | 135  |
| Grande Lisboa         | 109            | 5,3                | 3             | 1 071            | 1 700        | 10,8                       | -4           | 150  |
| Grande Porto          | 94             | 6,2                | 2             | 1 250            | 1 600        | 9,9                        | -7           | 130  |
| Lezíria do Tejo       | 73             | 5,2                | 3             | 1 135            | 2 700        | 10,2                       | -7           | 145  |
| Médio Tejo            | 168            | 5,9                | 0             | 1 330            | 1 300        | 9,5                        | -4           | 145  |
| Minho-Lima            | 268            | 7,2                | 1             | 1 629            | 1 500        | 8,2                        | -5           | 130  |
| Oeste                 | 99             | 5,6                | 0             | 1 165            | 2 200        | 10,3                       | -8           | 145  |
| Península de Setúbal  | 47             | 4,7                | 0             | 1 045            | 1 500        | 10,7                       | -4           | 145  |
| Pinhal Interior Norte | 361            | 6,8                | 0             | 1 555            | 1 600        | 8,3                        | -5           | 140  |
| Pinhal Interior Sul   | 361            | 6,7                | 1             | 1 511            | 1 500        | 8,4                        | -4           | 145  |
| Pinhal Litoral        | 126            | 6,6                | 0             | 1 323            | 1 900        | 9,6                        | -5           | 140  |
| RA da Madeira         | 380            | 3,2                | 3             | 818              | 1 500        | 14,8                       | -7           | 105  |
| RA dos Açores         | 10             | 2,9                | 3             | 604              | 1 500        | 14,4                       | -7           | 110  |
| Serra da Estrela      | 553            | 7,5                | 0             | 1 851            | 1 600        | 7,0                        | -5           | 135  |
| Tâmega                | 320            | 6,7                | 0             | 1 570            | 1 600        | 7,8                        | -5           | 135  |

### 5.3.1.2 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUTS III, necessários à avaliação do DEE na estação de arrefecimento, encontram-se previstos na Tabela 10, em que:

$\theta_{ext,v}$  – Temperatura exterior média na estação de arrefecimento [°C];

$G_{sol}$  – Energia solar média incidente numa superfície horizontal (0°) ou vertical (90°), acumulada durante a estação de arrefecimento [kWh/m<sup>2</sup>].

A duração da estação de arrefecimento ( $L_v$ ) toma um valor fixo de 4 meses (junho, julho, agosto e setembro), correspondendo a um total de 2928 horas.

Tabela 10 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento

| NUTS III              | $z_{REF}$<br>m | $\theta_{ext,v}$           |              | $G_{sol}$ [kWh/m <sup>2</sup> ] |          |           |          |           |          |           |          |           |
|-----------------------|----------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                       |                | $\theta_{ext,v,REF}$<br>°C | $a$<br>°C/km | 0°<br>H                         | 90°<br>N | 90°<br>NE | 90°<br>E | 90°<br>SE | 90°<br>S | 90°<br>SO | 90°<br>O | 90°<br>NO |
| Alentejo Central      | 221            | 24,3                       | 0            | 850                             | 225      | 370       | 510      | 500       | 415      | 500       | 510      | 370       |
| Alentejo Litoral      | 88             | 22,2                       | 0            | 850                             | 225      | 365       | 510      | 495       | 405      | 495       | 510      | 365       |
| Algarve               | 145            | 23,1                       | 0            | 865                             | 225      | 375       | 515      | 500       | 405      | 500       | 515      | 375       |
| Alto Alentejo         | 246            | 24,5                       | 0            | 845                             | 225      | 365       | 505      | 500       | 415      | 500       | 505      | 365       |
| Alto Trás-os-Montes   | 680            | 21,5                       | -7           | 790                             | 220      | 345       | 480      | 485       | 425      | 485       | 480      | 345       |
| Ave                   | 426            | 20,8                       | -3           | 795                             | 220      | 350       | 490      | 490       | 425      | 490       | 490      | 350       |
| Baixo Alentejo        | 178            | 24,7                       | 0            | 855                             | 225      | 370       | 510      | 495       | 405      | 495       | 510      | 370       |
| Baixo Mondego         | 67             | 20,9                       | 0            | 825                             | 225      | 360       | 495      | 495       | 420      | 495       | 495      | 360       |
| Baixo Vouga           | 50             | 20,6                       | -2           | 810                             | 220      | 355       | 490      | 490       | 420      | 490       | 490      | 355       |
| Beira Interior Norte  | 717            | 21,7                       | -5           | 820                             | 220      | 355       | 495      | 500       | 425      | 500       | 495      | 355       |
| Beira Interior Sul    | 328            | 25,3                       | -7           | 830                             | 220      | 360       | 500      | 495       | 420      | 495       | 500      | 360       |
| Cávado                | 171            | 20,7                       | -3           | 795                             | 220      | 345       | 485      | 490       | 425      | 490       | 485      | 345       |
| Cova da Beira         | 507            | 22,5                       | -6           | 825                             | 225      | 360       | 495      | 495       | 425      | 495       | 495      | 360       |
| Dão-Lafões            | 497            | 21,2                       | -3           | 815                             | 220      | 355       | 495      | 490       | 415      | 490       | 495      | 355       |
| Douro                 | 579            | 22,7                       | -6           | 805                             | 220      | 350       | 490      | 490       | 420      | 490       | 490      | 350       |
| Entre Douro e Vouga   | 298            | 20,6                       | -3           | 805                             | 220      | 350       | 490      | 490       | 425      | 490       | 490      | 350       |
| Grande Lisboa         | 109            | 21,7                       | -10          | 840                             | 225      | 365       | 500      | 495       | 410      | 495       | 500      | 365       |
| Grande Porto          | 94             | 20,9                       | 0            | 800                             | 220      | 350       | 490      | 490       | 425      | 490       | 490      | 350       |
| Lezíria do Tejo       | 73             | 23,1                       | -6           | 835                             | 225      | 365       | 500      | 495       | 410      | 495       | 500      | 365       |
| Médio Tejo            | 168            | 22,1                       | -7           | 835                             | 220      | 360       | 500      | 495       | 415      | 495       | 500      | 360       |
| Minho-Lima            | 268            | 20,5                       | -4           | 785                             | 220      | 345       | 475      | 485       | 425      | 485       | 475      | 345       |
| Oeste                 | 99             | 21,0                       | 0            | 830                             | 225      | 360       | 500      | 495       | 415      | 495       | 500      | 360       |
| Península de Setúbal  | 47             | 22,8                       | -5           | 845                             | 225      | 365       | 505      | 495       | 410      | 495       | 505      | 365       |
| Pinhal Interior Norte | 361            | 21,2                       | -2           | 825                             | 220      | 357       | 500      | 495       | 420      | 495       | 500      | 357       |
| Pinhal Interior Sul   | 361            | 22,4                       | -3           | 830                             | 225      | 360       | 500      | 500       | 420      | 500       | 500      | 360       |
| Pinhal Litoral        | 126            | 20,1                       | -2           | 830                             | 225      | 360       | 500      | 495       | 415      | 495       | 500      | 360       |
| RA da Madeira         | 380            | 20,2                       | -6           | 580                             | 195      | 260       | 325      | 320       | 280      | 320       | 325      | 260       |
| RA dos Açores         | 10             | 21,3                       | -6           | 640                             | 195      | 285       | 375      | 375       | 235      | 375       | 375      | 285       |
| Serra da Estrela      | 553            | 21,0                       | -4           | 820                             | 225      | 355       | 495      | 495       | 420      | 495       | 495      | 355       |
| Tâmega                | 320            | 21,4                       | -3           | 800                             | 220      | 350       | 490      | 490       | 425      | 490       | 490      | 350       |

## **ANEXO II**

Catálogo do fabricante Artebel [54]

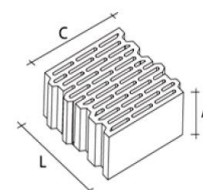
**1. Código de identificação único do produto-tipo:**

BMT – BLOCO MEGATÉRMICO<sup>®</sup>



**2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção:**

| Modelo Variante | Comprimento (C)<br>+ 3 mm<br>- 5 mm | Altura (A)<br>+ 3 mm<br>- 5 mm | Largura (L)<br>+ 3 mm<br>- 5 mm | Massa (kg/un) *<br>± 10% |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| BMT.3538        | 350                                 | 190                            | 380                             | 22                       |



A espessura dos septos (quando existentes) é igual ou superior a 17 mm. Os blocos podem ser providos de reentrâncias, ou dispositivos de encaixe e apresentar arestas vivas, boleadas ou chanfradas. O desenho é meramente ilustrativo.

\* Os pesos aqui mencionados referem-se ao produto em estado seco e não incluem o peso das paletes.

**3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:**

Constitui alternativa a soluções de parede dupla com isolamento leve e a soluções de paredes simples com isolamento leve pelo exterior (ETICS). Este bloco integra um sistema construtivo, constituído também por uma forra térmica, que permite a correção de pontes térmicas.<sup>1</sup>

**4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11º do Regulamento (UE) 305/2011:**

|  |  |   |
|--|--|---|
| Artebel - Artefactos de Betão S.A.<br>NIPC: 500 688 281<br>Página Web: <a href="http://www.artebel.pt">www.artebel.pt</a><br>Email: comercial@artebel.pt | Sede e Fábrica 1<br>Rua das Achadas Largas, Nº 20<br>3105-219 Meirinhas<br>Pombal<br>Telefone: +351 236.949.180<br>(Chamada para a rede fixa nacional) | Fábrica 2<br>3105-296 - Venda da Cruz - Pelariga<br>Pombal<br>Telefone: +351 236.211.742<br>(Chamada para a rede fixa nacional) |
|--|--|---|

**5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no Anexo V:**

Sistema 4 – EN 771-3:2011+A1:2015

<sup>1</sup> Ver ficha técnica da Forra Térmica

**6. Desempenho declarado:**

| Características Essenciais  | Desempenho               | Especificação Europeia Harmonizada |
|---|--------------------------|------------------------------------|
| Configuração, aparência, dimensões nominais externas.<br>Tolerâncias dimensionais.    | Ver ponto 2<br>Classe D1 | EN 771-3                           |
| Resistência média à compressão.<br>⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo.         | ≥ 2.5 N/mm <sup>2</sup>  |                                    |
| Reação ao fogo  | Classe A1                |                                    |
| Baridade (massa volúmica seca ± 10%)  | 1120 kg/m <sup>3</sup>   |                                    |
| Resistência ao corte (valor tabelado EN 998-2)  | 0.15 N / mm <sup>2</sup> |                                    |
| Estabilidade dimensional  | DND                      |                                    |
| Permeabilidade ao vapor de água   |                          |                                    |
| Absorção de água  |                          |                                    |
| Isolamento sonoro. Sons aéreos nas condições finais de utilização. <sup>(1) (2)</sup> | 50 dB(A)                 |                                    |
| Durabilidade. Resistência ao gelo/degelo.   | DND                      |                                    |
| Coefficiente de transmissão térmica <sup>(1)</sup>                                    | 0.41 W/m <sup>2</sup> °C |                                    |
| Substâncias perigosas   | DND                      |                                    |

DND – Desempenho Não Declarado.

<sup>(1)</sup> Valores obtidos em ensaios em laboratório acreditado (ambiente a 23° C e 50 % humidade relativa).

<sup>(2)</sup> Considerando revestimento em reboco, compreendido entre 20 mm a 25 mm de espessura.

**7. Informações complementares:**

**7.1. Descrição do produto:**

Bloco em betão leve de agregados de argila expandida para construção de alvenarias simples.

O **BLOCO MEGATÉRMICO**<sup>®</sup>, integra um sistema construtivo artebel de alvenaria simples, com isolamento repartido, sistema esse constituído por uma forra térmica. Concebido para alvenarias cujas características essenciais são o seu elevado desempenho térmico/regulamentar e a simplicidade do processo construtivo.

Trata-se de um bloco constituído por 13 paredes longitudinais separadas entre si por dezenas de micro caixas-de-ar, cuja distribuição e dimensões, aliadas ao tipo de betão utilizado, permitem obter reduzidos coeficientes de transmissão térmica (U=0,42W/m<sup>2</sup>. °C) e com elevada inércia térmica, o que numa transferência de energia, proporciona um tempo maior para o sistema alcançar o equilíbrio, ou seja, não sofrer alterações bruscas de temperatura. O bloco Megatérmico<sup>®</sup>, apresenta ainda uma elevada capacidade de respiração, evitando as tão indesejáveis condensações no interior das habitações.

**7.2. Vantagens:**

- ✓ Isolamento repartido;
- ✓ Elevada inércia térmica;
- ✓ Montagem simples;
- ✓ Mão-de-obra não especializada;
- ✓ Tempo de execução muito inferior ao de paredes duplas;
- ✓ Resistência mecânica elevada;
- ✓ Simplicidade em segmentar;
- ✓ Estabilidade dimensional;
- ✓ Verticalidade e planimetria de superfícies.

**7.3. Recomendações/Fases para aplicação:**

- O bloco deverá apresentar-se limpo e livre de gorduras. O assentamento deverá ser realizado contrafiado, com o cuidado de deixar as duas faces da parede regulares. O bloco é assente com argamassa nas juntas horizontais (conforme esquema ao lado) com o auxílio da BOX da artebel e com espessura entre 10 mm. a 15 mm., preferencialmente com argamassa pré-doseada ou em alternativa com uma argamassa bastarda, com um traço volumétrico aproximado de 1; ½; 8, (cimento; cal hidráulica; areia). Caso as condições atmosféricas se encontrem com humidade reduzida ou temperaturas elevadas, os blocos deverão ser humedecidos.
- A abertura dos roços é feita de igual forma, tal como no sistema tradicional de paredes duplas, com abre-roços elétrico, martelo elétrico, rebarbadora dupla ou simples, escopro, ponteiro e maceta.

- O reboco exterior e interior deverá apresentar espessura mínima de 2 cm e poderá ser executado com argamassa pré-doseada ou com argamassa bastarda ao traço volumétrico aproximado de 1;1;6 (cimento; cal hidráulica; areia).
- Deverá ser constituído por três camadas: crespido, camada de base e acabamento. O crespido também deverá ser aplicado nas planas de isolamento leve, localizadas nas zonas de ponte térmica. Deverá colocar-se rede de fibra de vidro, nas zonas de transição alvenaria-betão que deverá ter proteção antialcalina, malha quadrada com abertura da ordem dos 8 mm a 10 mm e resistência à tração não inferior a 25 N/mm<sup>2</sup>.

#### **7.4. Declaração ambiental de produto:**

A artebel, para o **BLOCO MEGATÉRMICO**<sup>®</sup>, obteve registo de Declaração Ambiental de Produto, no Sistema DAPHabitat, dando origem ao certificado de registo DAP 015:2022 (DAP de alvenarias térmicas que dispensam o uso de ETICS), válido até 26 de outubro de 2027.

A DAP é uma demonstração efetiva do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida. É uma evidência fiável das características técnicas e aspetos ambientais dos produtos, que responde à crescente preocupação com o desempenho ambiental dos produtos utilizados na fileira do Habitat, verificando-se a implementação e medidas que visam diminuir a pressão ambiental provocada pelos processos de extração de matérias-primas, fabrico dos produtos, aplicação, utilização e manutenção até à sua deposição final e eliminação.

**Nota:** A DAPHabitat disponibiliza uma base de dados do programa de registo, que permite verificar a veracidade da informação relativa à declaração ambiental do produto. Consultar: [https://daphabitat.pt/pt\\_PT/dap/dap-registadas](https://daphabitat.pt/pt_PT/dap/dap-registadas).

#### **8. O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.**

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (UE) n. 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado em nome do fabricante, por:  
(Virgílio Rosa – Administrador)

Pombal, 14 de junho de 2023

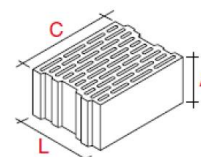
**1. Código de identificação único -tipo:**

BTA - BLOCO TERMOACÚSTICO<sup>®</sup>



**2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção:**

| Modelo Variante | Comprimento (C)<br>- 5 mm<br>+ 3 mm | Altura (A)<br>- 5 mm<br>+ 3 mm | Largura (L)<br>- 5 mm<br>+ 3 mm | Massa (Kg/un)*<br>± 10% |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| BTA.4031        | 400                                 | 190                            | 315                             | 20                      |



A espessura dos septos é igual ou superior a 17 mm. Os blocos podem ser providos de reentrâncias, ou dispositivos de encaixe e apresentar arestas vivas, boleadas ou chanfradas. O desenho é meramente ilustrativo.

\*Os pesos aqui mencionados referem-se ao produto em estado seco e não incluem o peso das paletes.

**3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:**

Constitui alternativa a soluções de parede dupla com isolamento leve e a soluções de paredes simples com isolamento leve pelo exterior (ETICS). Este bloco integra um sistema construtivo, constituído também por uma forra térmica, que permite a correção de pontes térmicas. <sup>i</sup>

**4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11º do Regulamento (UE) 305/2011:**

|  |  |   |
|--|--|---|
| Artebel - Artefactos de Betão S.A.<br>NIPC: 500 688 281<br>Página Web: <a href="http://www.artebel.pt">www.artebel.pt</a><br>Email: <a href="mailto:comercial@artebel.pt">comercial@artebel.pt</a> | Sede e Fábrica 1<br>Rua das Achadas Largas, Nº 20<br>3105-219 Meirinhas<br>Pombal<br>Telefone: +351 236.949.180<br>(Chamada para a rede fixa nacional) | Fábrica 2<br>3105-296 - Venda da Cruz - Pelariga<br>Pombal<br>Telefone: +351 236.211.742<br>(Chamada para a rede fixa nacional) |
|--|--|---|

**5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no Anexo V:**

Sistema 4 – EN 771-3:2011+A1:2015

<sup>i</sup> Ver Ficha Técnica da FORRA TÉRMICA XPS

**6. Desempenho declarado:**

| Características Essenciais  | Desempenho               | Especificação Europeia Harmonizada |
|---|--------------------------|------------------------------------|
| Configuração, aparência, dimensões nominais externas.<br>Tolerâncias dimensionais.    | Ver ponto 2<br>Classe D1 | EN 771-3                           |
| Resistência média à compressão.<br>⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo.         | ≥ 3.0 N/mm <sup>2</sup>  |                                    |
| Reação ao fogo  | Classe A1                |                                    |
| Baridade (massa volúmica seca ± 10%)  | 1190 kg/m <sup>3</sup>   |                                    |
| Resistência ao corte (valor tabelado EN 998-2)  | 0.15 N / mm <sup>2</sup> |                                    |
| Estabilidade dimensional  | DND                      |                                    |
| Permeabilidade ao vapor de água   |                          |                                    |
| Absorção de água  |                          |                                    |
| Isolamento sonoro. Sons aéreos nas condições finais de utilização. <sup>(1) (2)</sup> | 51 dB(A)                 |                                    |
| Durabilidade. Resistência ao gelo/degelo.   | DND                      |                                    |
| Coefficiente de transmissão térmica <sup>(1)</sup>                                    | 0,51W/m <sup>2</sup> °C  |                                    |
| Substâncias perigosas   | DND                      |                                    |

DND – Desempenho Não Declarado.

<sup>(1)</sup> Valores obtidos em ensaios em laboratório acreditado (ambiente a 23° C e 50 % humidade relativa).

<sup>(2)</sup> Considerando revestimento em reboco, compreendido entre 20 mm a 25 mm de espessura.

**7. Informações complementares:**

**7.1. Descrição do produto:**

Bloco em betão leve de agregados de argila expandida para construção de alvenarias simples.

O bloco **TERMOACÚSTICO**<sup>®</sup>, integra um sistema construtivo artebel de alvenaria simples, com isolamento repartido, sistema esse constituído por uma forra térmica. Concebido para alvenarias cujas características essenciais são o seu elevado desempenho térmico/regulamentar e a simplicidade do processo construtivo.

Trata-se de um bloco constituído por 11 paredes longitudinais separadas entre si por dezenas de micro caixas-de-ar, cuja distribuição e dimensões, aliadas ao tipo de betão utilizado, permitem obter reduzidos coeficientes de transmissão térmica (U=0.51 W/m<sup>2</sup>.°C) e elevada inercia térmica, o que numa transferência de energia, proporciona um tempo maior para o sistema alcançar o equilíbrio, ou seja não sofrer alterações bruscas de temperatura. O **TERMOACÚSTICO**<sup>®</sup> apresenta ainda uma elevada capacidade de respiração, evitando as tão indesejáveis condensações no interior das habitações.

**7.2. Vantagens:**

- ✓ Isolamento repartido;
- ✓ Elevada Inércia térmica;
- ✓ Montagem simples;
- ✓ Mão-de-obra não especializada;
- ✓ Tempo de execução muito inferior ao de paredes duplas;
- ✓ Resistência mecânica elevada;
- ✓ Simplicidade em segmentar;
- ✓ Estabilidade dimensional;
- ✓ Verticalidade e planimetria de superfícies.

**7.3. Recomendações/Fases para aplicação:**

- O bloco deverá apresentar-se limpo e livre de gorduras. O assentamento deverá ser realizado contrafiado, com o cuidado de deixar as duas faces da parede regulares. O bloco é assente com argamassa nas juntas horizontais (conforme esquema ao lado) com o auxílio da BOX da artebel e com espessura entre 10 mm a 15 mm, preferencialmente com argamassa pré-doseada ou em alternativa com uma argamassa bastarda, com um traço volumétrico aproximado de 1; ½; 8, (cimento; cal hidráulica; areia). Caso as condições atmosféricas se encontrem com humidade reduzida ou temperaturas muito elevadas, os blocos deverão ser humedecidos.

- A abertura dos roços é feita de igual forma, tal como no sistema tradicional de paredes duplas, com abre-roços elétrico, martelo elétrico, rebarbadora dupla ou simples ou escopro, ponteiro e maceta.
- O reboco exterior e interior deverá apresentar espessura mínima de 2 cm e poderá ser executado com argamassa pré-doseada ou com argamassa bastarda ao traço volumétrico aproximado de; 1;1;6 (cimento; cal hidráulica; areia).
- Deverá ser constituído por três camadas: crespido, camada de base e acabamento. O crespido também deverá ser aplicado nas placas de isolamento leve, localizadas nas zonas de ponte térmica. Deverá colocar-se rede de fibra de vidro, nas zonas de transição alvenaria-betão que deverá ter proteção antialcalina, malha quadrada com abertura da ordem dos 8 mm a 10 mm e resistência à tração não inferior a 25 N/mm<sup>2</sup>.

#### **7.4. Declaração ambiental de produto:**

A artebel, para o bloco TERMOACÚSTICO<sup>®</sup>, obteve registo de Declaração Ambiental de Produto, no Sistema DAPHabitat, dando origem ao certificado de registo DAP 015:2022 (DAP de alvenarias térmicas que dispensam o uso de ETICS), válido até 26 de outubro de 2027.

A DAP é uma demonstração efetiva do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida. É uma evidência fiável das características técnicas e aspetos ambientais dos produtos, que responde à crescente preocupação com o desempenho ambiental dos produtos utilizados na fileira do Habitat, verificando-se a implementação e medidas que visam diminuir a pressão ambiental provocada pelos processos de extração de matérias-primas, fabrico dos produtos, aplicação, utilização e manutenção até à sua deposição final e eliminação.

**Nota:** A DAPHabitat disponibiliza uma base de dados do programa de registo, que permite verificar a veracidade da informação relativa à declaração ambiental do produto. Consultar: [https://daphabitat.pt/pt\\_PT/dap/dap-registadas](https://daphabitat.pt/pt_PT/dap/dap-registadas).

#### **8. O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.**

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (UE) n. 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado em nome do fabricante, por:  
(*Virgílio Rosa – Administrador*)

Pombal, 14 de junho de 2023



Número de registo: DAP 015:2022



## ALVENARIAS TÉRMICAS QUE DISPENSAM DE USO DE ETICS

Data de emissão: 27/10/2022

Data de validade: 26/10/2027

### ARTEBEL - ARTEFACTOS DE BETÃO S.A.



**megaTÉRMICO®**



**TERMOACÚSTICO®**

**artebel®**  
ARTEFACTOS DE BETÃO, S. A.

  
**centroHabitat**  
Plataforma para a Construção Sustentável

VERSÃO 1.1. EDIÇÃO JULHO 2015

## Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INFORMAÇÕES GERAIS .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.1. SISTEMA DE REGISTO DAPHABITAT .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.2. PROPRIETÁRIO .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.3. INFORMAÇÕES SOBRE A DAP .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.4. DEMONSTRAÇÃO DE VERIFICAÇÃO .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.5. REGISTO DA DAP .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1.6. RCP DE REFERÊNCIA .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.7. INFORMAÇÕES SOBRE O PRODUTO/ CLASSE DE PRODUTO.....</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>2. DESEMPENHO AMBIENTAL DO PRODUTO .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2.1. REGRAS DE CÁLCULO DA ACV .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2.1.1. DIAGRAMA DE FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DOS PROCESSOS .....</b>                        | <b>7</b>  |
| <b>2.1.2. DESCRIÇÃO DA FRONTEIRA DO SISTEMA .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2.2. PARÂMETROS QUE DESCREVEM OS POTENCIAIS IMPACTES AMBIENTAIS .....</b>                   | <b>9</b>  |
| <b>2.3. PARÂMETROS QUE DESCREVEM A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS .....</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>2.4. OUTRAS INFORMAÇÕES AMBIENTAIS QUE DESCREVEM DIFERENTES CATEGORIAS DE RESÍDUOS.....</b> | <b>10</b> |
| <b>2.5. OUTRAS INFORMAÇÕES AMBIENTAIS QUE DESCREVEM OS FLUXOS DE SAÍDA .....</b>               | <b>10</b> |
| <b>3. INFORMAÇÃO TÉCNICA ADICIONAL E CENÁRIOS .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>11</b> |

## 1. INFORMAÇÕES GERAIS

### 1.1. Sistema de registo DAPHabitat

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Identificação do operador do programa:</b> | Associação Plataforma para a Construção Sustentável<br><a href="http://www.centrohabitat.net">www.centrohabitat.net</a><br><a href="mailto:centrohabitat@centrohabitat.net">centrohabitat@centrohabitat.net</a> | <br>centroHabitat<br>Plataforma para a Construção Sustentável |
| <b>Localização:</b>                           | Departamento Engenharia Civil<br>Universidade de Aveiro<br>3810-193 Aveiro  |  |
| <b>Endereço eletrónico:</b>                   | <a href="mailto:dep tecnico@centrohabitat.net">dep tecnico@centrohabitat.net</a>  |  |
| <b>Contacto telefónico:</b>                   | (+351) 234 401 576  |  |
| <b>Website:</b>                               | <a href="http://www.daphabitat.pt">www.daphabitat.pt</a>  |  |
| <b>Logótipo:</b>                              |    |  |



### 1.2. Proprietário

|   |   |
|---|---|
| <b>Nome do proprietário:</b>                          | ARTEBEL - ARTEFACTOS DE BETÃO S.A.  |
| <b>Local de produção - Localização:</b>               | Meirinhas   |
| <b>Localização (sede):</b>                            | Rua das Achadas Largas, nº20   3105-219 Meirinhas, Pombal   |
| <b>Contacto telefónico:</b>                           | 236949180   |
| <b>Endereço eletrónico:</b>                           | <a href="mailto:geral@artebel.pt">geral@artebel.pt</a>  |
| <b>Website:</b>                                       | <a href="https://www.artebel.pt/">https://www.artebel.pt/</a>   |
| <b>Logótipo:</b>                                      | <br>ARTEFACTOS DE BETÃO, S. A.  |
| <b>Informação sobre Sistemas de Gestão aplicados:</b> | Sistema de Gestão da Qualidade - ISO 9001:2015  |
| <b>Aspetos específicos relativos à produção:</b>      | CAE Principal: 23610 - Fabricação de produtos de betão para a construção<br>CAE Secundário: 47523 - Comércio a retalho de material de bricolage, equipamento sanitário, ladrilhos e materiais similares, em estabelecimentos especializados |
| <b>Política ambiental da organização:</b>             |   |


### 1.3. Informações sobre a DAP

|  |  |
|--|--|
| <b>Autores:</b>  | 1. Artebel - artefactos de betão s.a.<br>2. Envisolutions, Lda.  |
| <b>Contacto dos autores:</b>   | 1. Artebel - artefactos de betão s.a.<br>2. Envisolutions, Lda.<br>Endereço: Rua Gonçalves Zarco, 1843, R/C D 4450-683 Leça da Palmeira - Matosinhos, PT<br>Contactos telefónicos: + 351 220 996 067<br>Aline Silva Abrantes   aline.abrantes@envisolutions.eu<br>Daniel Afonso   daniel.afonso@envisolutions.eu<br>Website: <a href="http://envisolutions.eu/">http://envisolutions.eu/</a> |
| <b>Data de emissão:</b>  | 27/10/2022   |
| <b>Data de registo:</b>  | 31/10/2022   |
| <b>Número de registo:</b>  | DAP 015:2022   |
| <b>Válido até:</b>   | 26/10/2027   |
| <b>Representatividade da DAP (local, produtor, grupo de produtores):</b> | Blocos Térmicos de Alvenaria produzidos na Unidade Industrial de Pombal da Artebel. Os blocos de alvenaria incluídos nesta categoria incluem:<br>- Megatermico <sup>®</sup><br>- Termoacusticos <sup>®</sup>   |
| <b>Onde consultar material explicativo sobre produto:</b>                | Web site ARTEBEL - <a href="https://www.artebel.pt/">https://www.artebel.pt/</a>   |
| <b>Tipo de DAP:</b>  | DAP do berço ao portão   |

### 1.4. Demonstração de verificação

|   |  |
|---|--|
| Verificação externa independente, de acordo com as normas NP ISO 14025:2009 e EN 15804:2012+A1:2013 |  |
| <b>Organismo de Certificação</b>  | <b>Verificador</b>   |
|                  |  |
| (CERTIF – Associação para a Certificação)   | (Marisa Almeida)   |

### 1.5. Registo da DAP

|  |
|--|
| <b>Operador de Programa de registo</b><br> |
| (Plataforma para a Construção Sustentável)   |

## 1.6. RCP de referência

|  |  |
|--|--|
| <b>Nome:</b>   | RCP – Unidades de alvenaria – V.1.1  |
| <b>Data de emissão:</b>                                | 18 de novembro de 2020   |
| <b>Número de registo na base de dados:</b>             | RCP006   |
| <b>Versão:</b>   | 1.1  |
| <b>Identificação e contacto do(s) coordenador(es):</b> | Baio Dias   baiodias@ctcv.pt<br>Luís Arroja   arroja@ua.pt   |
| <b>Identificação e contacto dos autores:</b>           | Marisa Almeida   marisa@ctcv.pt<br>Baio Dias   baiodias@ctcv.pt<br>Luís Arroja   arroja@ua.pt  |
| <b>Composição do painel sectorial:</b>                 | APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica<br>Artebel, S.A – Soluções construtivas em betão<br>ANIPB – Associação Nacional dos Industriais de Prefabricação em Betão<br>Argex – Argila Expandida, S.A |
| <b>Período de consulta:</b>                            | 11/06/2014 a 30/06/2014  |
| <b>Válido até:</b>                                     | Dezembro de 2022   |

|  |  |
|--|--|
| <b>Nome:</b>   | RCP – MODELO BASE_ VERSÃO 2.1  |
| <b>Data de emissão:</b>                                | 19 de janeiro de 2016  |
| <b>Número de registo na base de dados:</b>             | RCP-MB001  |
| <b>Versão:</b>   | 2.1  |
| <b>Identificação e contacto do(s) coordenador(es):</b> | Marisa Almeida   marisa@ctcv.pt<br>Luís Arroja   arroja@ua.pt<br>José Silvestre   jds@civil.ist.utl.pt   |
| <b>Identificação e contacto dos autores:</b>           | Marisa Almeida<br>Luis Arroja<br>José Silvestre<br>Fausto Freire<br>Cristina Rocha;<br>Ana Paula Duarte;<br>Ana Cláudia Dias;<br>Helena Gervásio;<br>Victor Ferreira;<br>Ricardo Mateus<br>António Baio Dias |
| <b>Composição do painel sectorial:</b>                 | -  |
| <b>Período de consulta:</b>                            | 18/11/2015 A 18/01/2016  |
| <b>Válido até:</b>                                     | Dezembro de 2022   |

## 1.7. Informações sobre o produto/ classe de produto

| <b>Identificação do produto:</b>   | Alvenarias térmicas que dispensam uso de ETICS - TERMOACÚSTICO <sup>®</sup> e MEGATÉRMICO <sup>®</sup>   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
|--|--|-------------------------|---------------------------|------------|--|--------------------------|--------------|--|--|-------------------------|--|----------------|-----------|--|--------------------------------------|------------------------|--|--|--------------------------|--|--------------------------|-----|--|---------------------------------|------------------|--|---------------|----------|-------------|----------|--|-----|--|--|---------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|-----|--|
| <b>Ilustração do produto:</b>  |    |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Breve descrição do produto:</b>   | <p>Bloco de betão leve para isolamento térmico e acústico.</p> <p>Estes blocos integram um sistema construtivo artebel<sup>®</sup> de alvenarias simples, com isolamento repartido, cujas características essenciais são o seu elevado desempenho térmico/regulamentar e a simplicidade do processo construtivo. O sistema inclui uma forra térmica concebida para este tipo de alvenarias.</p> <p>São blocos constituídos por múltiplas paredes longitudinais separadas entre si por dezenas de micro caixas-de-ar, cuja distribuição e dimensões, aliadas ao tipo de betão utilizado, permitem obter reduzidos coeficientes de transmissão térmica, uma elevada inércia térmica, que numa transferência de energia, proporciona um tempo maior para o sistema alcançar o equilíbrio. Ou seja, não sofrer alterações bruscas de temperatura. Estes blocos cumprem com os elevados índices de isolamento acústico e apresenta ainda uma elevada capacidade de respiração evitando as tão indesejáveis condensações no interior das habitações.</p>   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Principais características técnicas do produto:</b>                                   | <p>As características do produto encontram-se declaradas na sua declaração de desempenho as quais são apresentadas na tabela abaixo:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CARATERÍSTICAS ESSENCIAIS</th> <th colspan="2">DESEMPENHO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tolerâncias dimensionais</td> <td colspan="2">Categoria D1</td> </tr> <tr> <td>Resistência média à compressão.<br/>⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo</td> <td colspan="2">≥ 2.5 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Reação ao fogo</td> <td colspan="2">Classe A1</td> </tr> <tr> <td>Baridade (massa volúmica seca + 15%)</td> <td colspan="2">1190 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Resistência ao corte (valor tabelado EN 998-2)</td> <td colspan="2">0.15 N / mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Estabilidade dimensional</td> <td colspan="2" rowspan="3">DND</td> </tr> <tr> <td>Permeabilidade ao vapor de água</td> </tr> <tr> <td>Absorção de água</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Isolamento sonoro.<br/>Sons aéreos nas condições finais de utilização</td> <td>TERMOACÚSTICO</td> <td>51 dB(A)</td> </tr> <tr> <td>MEGATÉRMICO</td> <td>50 dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Durabilidade. Resistência ao gelo/degelo</td> <td colspan="2">DND</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Coeficiente de transmissão térmica (1)</td> <td>TERMOACÚSTICO</td> <td>0,51W/m<sup>2</sup>°C</td> </tr> <tr> <td>MEGATÉRMICO</td> <td>0,41W/m<sup>2</sup>°C</td> </tr> <tr> <td>Substâncias perigosas</td> <td colspan="2">DND</td> </tr> </tbody> </table> |                         | CARATERÍSTICAS ESSENCIAIS | DESEMPENHO |  | Tolerâncias dimensionais | Categoria D1 |  | Resistência média à compressão.<br>⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo | ≥ 2.5 N/mm <sup>2</sup> |  | Reação ao fogo | Classe A1 |  | Baridade (massa volúmica seca + 15%) | 1190 kg/m <sup>3</sup> |  | Resistência ao corte (valor tabelado EN 998-2) | 0.15 N / mm <sup>2</sup> |  | Estabilidade dimensional | DND |  | Permeabilidade ao vapor de água | Absorção de água | Isolamento sonoro.<br>Sons aéreos nas condições finais de utilização | TERMOACÚSTICO | 51 dB(A) | MEGATÉRMICO | 50 dB(A) | Durabilidade. Resistência ao gelo/degelo | DND |  | Coeficiente de transmissão térmica (1) | TERMOACÚSTICO | 0,51W/m <sup>2</sup> °C | MEGATÉRMICO | 0,41W/m <sup>2</sup> °C | Substâncias perigosas | DND |  |
| CARATERÍSTICAS ESSENCIAIS  | DESEMPENHO   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Tolerâncias dimensionais   | Categoria D1   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Resistência média à compressão.<br>⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo             | ≥ 2.5 N/mm <sup>2</sup>  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Reação ao fogo   | Classe A1  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Baridade (massa volúmica seca + 15%)   | 1190 kg/m <sup>3</sup>   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Resistência ao corte (valor tabelado EN 998-2)   | 0.15 N / mm <sup>2</sup>   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Estabilidade dimensional   | DND  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Permeabilidade ao vapor de água  |  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Absorção de água   |  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Isolamento sonoro.<br>Sons aéreos nas condições finais de utilização                     | TERMOACÚSTICO  | 51 dB(A)                |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
|  | MEGATÉRMICO  | 50 dB(A)                |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Durabilidade. Resistência ao gelo/degelo   | DND  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Coeficiente de transmissão térmica (1)   | TERMOACÚSTICO  | 0,51W/m <sup>2</sup> °C |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
|  | MEGATÉRMICO  | 0,41W/m <sup>2</sup> °C |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| Substâncias perigosas  | DND  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Descrição da aplicação do produto:</b>  | Destinado à execução de paredes simples e duplas, onde a exigência de isolamento térmico se impõe.   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Vida útil de referência:</b>  | Não especificada   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Colocação no mercado/ Regras de aplicação no mercado/ Normas técnicas do produto:</b> | Regulamento (EU) No 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de março de 2011 na sua redação atual<br>EN 771-3:2011+A1:2015 Especificações para unidades de alvenaria; Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves).  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Controlo de qualidade:</b>  | Plano de Controlo conforme EN 771-3:2011+A1:2015   |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |
| <b>Condições especiais de entrega:</b>   | Não aplicável  |                         |                           |            |  |                          |              |  |  |                         |  |                |           |  |                                      |                        |  |  |                          |  |                          |     |  |                                 |                  |  |               |          |             |          |  |     |  |  |               |                         |             |                         |                       |     |  |

|  |  |
|--|--|
| <b>Componentes e substâncias a declarar:</b> | A mistura de betão é composta por agregados em 72%, cimento em 7%, água em 3%.<br>Não possui na sua composição SVHC no âmbito do Regulamento REACH |
| <b>Histórico de estudos de ACV:</b>          | Não aplicável. Primeira edição   |

## 2. DESEMPENHO AMBIENTAL DO PRODUTO

### 2.1. Regras de cálculo da ACV

|  |   |
|--|---|
| <b>Unidade declarada:</b>  | 1 m <sup>2</sup> em bloco de betão leve para parede interior ou exterior de alvenaria   |
| <b>Unidade funcional:</b>  | --  |
| <b>Fronteira do sistema:</b>   | DAP do berço ao portão.   |
| <b>Critérios de exclusão:</b>  | <p>De acordo com o parágrafo 6.3.5 da EN 15804, o critério de exclusão para processos unitários é de 1% da energia total consumida e 1% da massa total dos inputs, com particular atenção para não ultrapassar um total de 5% da energia e fluxos de massa excluídos na etapa do produto.</p> <p>Os seguintes casos não foram considerados neste estudo, pois podem-se enquadrar nos critérios de exclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas ambientais associadas à construção de infraestruturas industriais e ao fabrico de máquinas e equipamentos;</li> <li>• Cargas ambientais relativas à infraestrutura (produção e manutenção de veículos e estradas) para o transporte de pré-produtos;</li> <li>• O consumo de água, produção e tratamento de águas residuais bem como a gestão dos resíduos das áreas administrativas</li> <li>• Energia utilizada para o transporte dos colaboradores</li> </ul> <p>Todos os fluxos de entradas e saídas conhecidas foram considerados.</p> |
| <b>Pressupostos e limitações</b>   | Os dados recolhidos e resultados dos impactes ambientais e restantes indicadores apresentados nesta DAP referem-se ao ano de 2020.  |
| <b>Qualidade e outras características sobre a informação utilizada na ACV:</b> | <p>Os dados específicos utilizados foram recolhidos tendo por base o ano 2020 e os dados específicos da unidade industrial da Artebel localizada em Pombal. A modelação dos dados teve em conta os dados recolhidos e validados tendo por base balanços de massa e tempos de produção.</p> <p>Para os processos sobre os quais os produtores não possuem interferência ou informação específica, como por exemplo a extração de matérias-primas, foram utilizados genéricos obtidos a partir da base de dados Ecoinvent 3.6.</p> <p>Em termos de eletricidade foi considerado o mix energético do ano 2019 tendo por base os dados Ecoinvent 3.6.</p>   |
| <b>Regras de alocação:</b>   | <p>A composição de betão de cada modelo de bloco térmico produzido apesar de possuir uma matriz comum em termos de materiais a percentagem de cada um na mistura final apresenta variações. A composição média por família de produto foi calculada tendo em conta a representatividade de cada modelo na produção anual da unidade industrial. O perfil de consumo não se espera que venha a sofrer alterações relevantes e a composição do betão também se espera que se mantenha estável.</p> <p>A alocação para os demais fluxos (energia, combustíveis, resíduos, materiais de embalagem, etc.) foram calculados tendo em conta a percentagem relativa do consumo de cimento.</p>  |
| <b>Comparabilidade:</b>  | As DAP de produtos e serviços de construção podem não ser comparáveis caso não sejam produzidas de acordo com a EN 15804 e a EN 15942 e de acordo com as condições de comparabilidade determinadas pela ISO 14025.  |

### 2.1.1. Diagrama de fluxos de entrada e saída dos processos

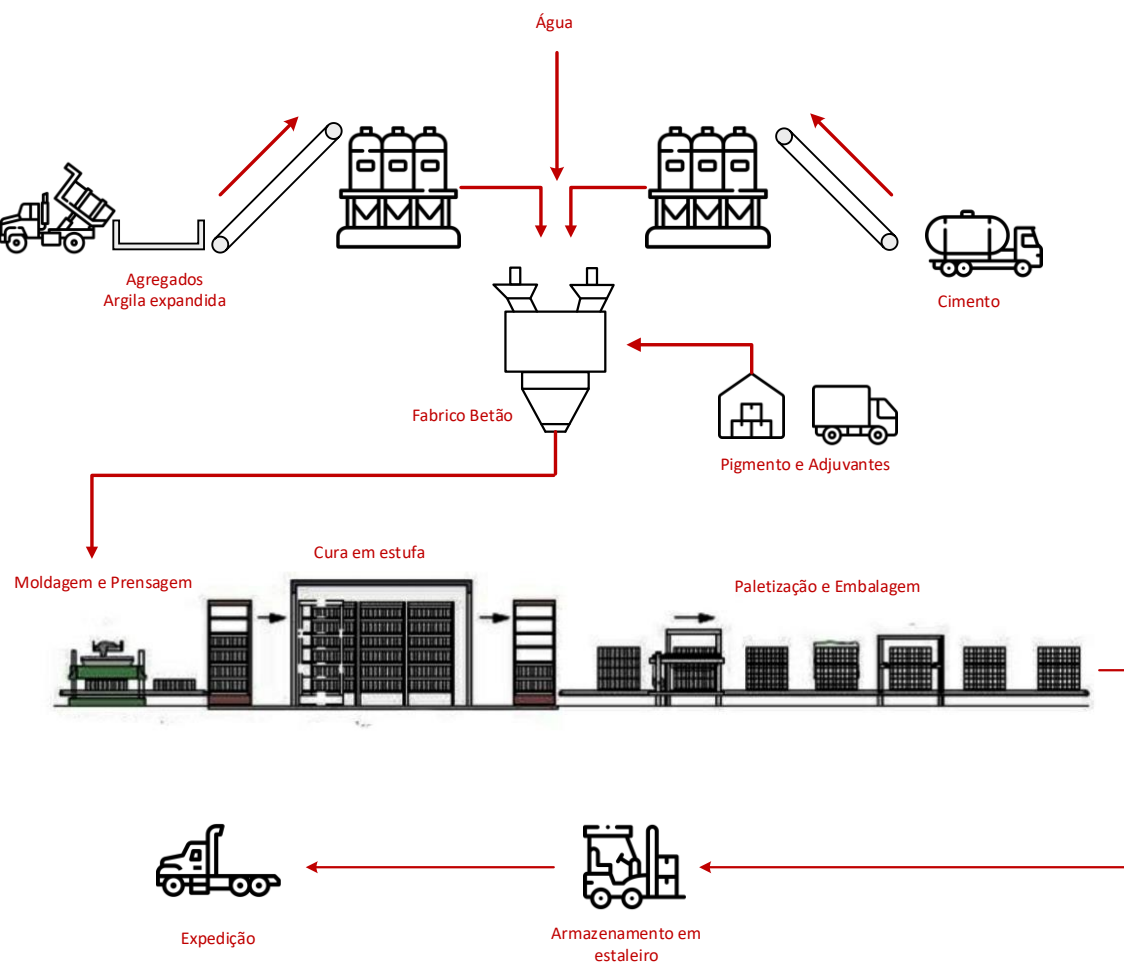


Figura 1: Fluxograma produtivo

## 2.1.2. Descrição da fronteira do sistema

(✓= incluído; x= módulo não declarado)

| ETAPA DE PRODUÇÃO                           |            |          | ETAPA DE CONSTRUÇÃO |                                     | ETAPA DE UTILIZAÇÃO |            |           |              |              |                              |                           | ETAPA DE FIM DE VIDA      |            |                           |                  | BENEFÍCIOS E CARGAS AMBIENTAIS PARA ALÉM DA FRONTEIRA DO SISTEMA |    |
|---|------------|----------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|------------|-----------|--------------|--------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------------|--|----|
| Extração e processamento de matérias-primas | Transporte | Produção | Transporte          | Processo de construção e instalação | Utilização          | Manutenção | Reparação | Substituição | Reabilitação | Uso de energia (operacional) | Uso de água (operacional) | Desconstrução e demolição | Transporte | Processamento de resíduos | Eliminação final | Potencial de reutilização, reciclagem e valorização              |    |
|   |            |          |                     |                                     |                     |            |           |              |              |                              |                           |                           |            |                           |                  |  | A1 |
| ✓   | ✓          | ✓        | x                   | x                                   | x                   | x          | x         | x            | x            | x                            | x                         | x                         | x          | x                         | x                | x  | x  |

As matérias-primas são transportadas por camião desde o seu local de produção até à fábrica. Aquando da receção existe uma verificação/confirmação do material e o mesmo é descarregado e encaminhado para silos de acordo com a sua tipologia.


O processo de fabrico consiste no fabrico de betão leve, o qual é depois moldado e prensado de acordo com a configuração do produto que está a ser fabricado. Os produtos moldados saem em bandejas que são depois transportadas de forma automática para uma estufa de cura. Após a cura os produtos são recolhidos por um sistema automático de transporte e paletizados. É nesta fase que são também identificados e cintados para uma maior segurança no transporte das paletes. Após este processo os produtos são armazenados temporariamente no estaleiro e/ou expedidos para o cliente.

O transporte para a obra ou para o distribuidor, bem como a sua aplicação em obra encontram-se fora da fronteira deste estudo.

## 2.2. Parâmetros que descrevem os potenciais impactes ambientais

|  |              | Aquecimento global<br>kg CO <sub>2</sub> equiv. | Depleção da camada do ozono<br>kg CFC 11 equiv. | Acidificação<br>kg SO <sub>2</sub> equiv. | Eutrofização<br>kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> equiv. | Oxidação fotoquímica<br>kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> equiv. | Depleção de recursos abióticos (elementos)<br>kg Sb equiv. | Depleção de recursos abióticos (fósseis)<br>MJ, P.C.I. |
|--|--------------|---|---|---|--|---|--|--|
| Extração e processamento matérias-primas | A1           | 6,19E+01  | 1,601E-6  | 2,833E-1                                  | 5,979E-2   | 1,232E-2  | 4,417E-4   | 4,09E+02   |
| Transporte                               | A2           | 8,752E-1  | 1,654E-7  | 1,801E-3                                  | 3,637E-4   | 1,141E-4  | 1,51E-5  | 1,38E+01   |
| Produção                                 | A3           | 2,04E+00  | 1,312E-7  | 1,003E-2                                  | 2,936E-3   | 9,264E-4  | 1,837E-5   | 5,25E+01   |
| <b>Total</b>                             | <b>Total</b> | 6,48E+01  | 1,897E-6  | 2,951E-1                                  | 6,309E-2   | 1,336E-2  | 4,752E-4   | 4,76E+02   |

LEGENDA:


 Etapa de Produção

NOTAS: P.C.I. – Poder calorífico inferior.  
Unidades expressas por unidade funcional ou unidade declarada.

## 2.3. Parâmetros que descrevem a utilização de recursos

|   |              | EPR<br>MJ, P.C.I. | RR<br>MJ, P.C.I. | TRR<br>MJ, P.C.I. | EPNR<br>MJ, P.C.I. | RNR<br>MJ, P.C.I. | TRNR<br>MJ, P.C.I. | MS<br>kg | CSR<br>MJ, P.C.I. | CSNR<br>MJ, P.C.I. | Água doce<br>m <sup>3</sup> |
|---|--------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| Extração e processamento de matérias-primas | A1           | 3,65E+01          | 0,00E+00         | 3,65E+01          | 4,08E+02           | 1,15E+00          | 4,09E+02           | 3,383E-1 | 0,00E+00          | 0,00E+00           | 4,945E-1                    |
| Transporte                                  | A2           | 1,733E-1          | 0,00E+00         | 1,733E-1          | 1,38E+01           | 0,00E+00          | 1,38E+01           | 0,00E+00 | 0,00E+00          | 0,00E+00           | 2,866E-3                    |
| Produção                                    | A3           | 8,57E+00          | 1,32E+01         | 2,17E+01          | 3,06E+01           | 2,18E+01          | 5,25E+01           | 7,344E-3 | 0,00E+00          | 0,00E+00           | 7,775E-3                    |
| <b>Total</b>                                | <b>Total</b> | 4,52E+01          | 1,32E+01         | 5,84E+01          | 4,53E+02           | 2,30E+01          | 4,76E+02           | 3,456E-1 | 0,00E+00          | 0,00E+00           | 5,052E-1                    |

LEGENDA:


 Etapa de Produção

EPR = utilização de energia primária renovável excluindo os recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas; RR = utilização dos recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas; TRR = utilização total dos recursos de energia primária renováveis (EPR + RR); EPNR = utilização de energia primária não renovável, excluindo os recursos de energia primária não renováveis utilizados como matérias-primas; RNR = utilização dos recursos de energia primária não renováveis utilizados como matérias-primas; TRNR = Utilização total dos recursos de energia primária não renováveis (EPNR + RNR); MS = utilização de material secundário; CSR = utilização de combustíveis secundários renováveis; CSNR = utilização de combustíveis secundários não renováveis; Água doce = utilização do valor líquido de água doce.

NOTA: Unidades expressas por unidade funcional ou unidade declarada.

## 2.4. Outras informações ambientais que descrevem diferentes categorias de resíduos

|   |              | Resíduos perigosos eliminados | Resíduos não perigosos eliminados | Resíduos radioativos eliminados |
|---|--------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|   |              | kg                            | kg                                | kg                              |
| Extração e processamento de matérias-primas | A1           | 2,43E+00                      | 6,61E+01                          | 1,049E-3                        |
| Transporte                                  | A2           | 1,338E-2                      | 1,48E+00                          | 9,449E-5                        |
| Produção                                    | A3           | 1,363E-1                      | 3,35E+00                          | 8,574E-5                        |
| <b>Total</b>                                | <b>Total</b> | 2,58E+00                      | 7,09E+01                          | 1,229E-3                        |

LEGENDA:  
 Etapa de Produção

NOTAS: Unidades expressas por unidade funcional ou unidade declarada.

## 2.5. Outras informações ambientais que descrevem os fluxos de saída

| Parâmetro                             | Unidades*                       | Resultados |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------|
| Componentes para reutilização         | kg                              | 0.0E0      |
| Materiais para reciclagem             | kg                              | 6.0E-6     |
| Resíduos radioativos eliminados       | kg                              | 0.0E0      |
| Materiais para recuperação de energia | kg                              | 0.0E0      |
| Energia exportada                     | MJ por transportador de energia | 0.0E0      |

\* expressas por unidade funcional ou unidade declarada

## 3. INFORMAÇÃO TÉCNICA ADICIONAL E CENÁRIOS

Esta DAP representa apenas a etapa de produção das alvenarias da Artebel, incluindo os módulos A1 a A3. Assim, os cenários seguintes referentes às etapas de construção (módulos A4 e A5), utilização (B1 a B7) e fim-de-vida (C1 a C4), não são aplicáveis.

## REFERÊNCIAS

- ✓ **Instruções Gerais do Sistema DAPHabitat**, Versão 1.1, Outubro 2015 (em [www.daphabitat.pt](http://www.daphabitat.pt));
- ✓ **RCP – modelo base para produtos e serviços de construção**. Sistema DAPHabitat. Versão 2.1, 2020 (em [www.daphabitat.pt](http://www.daphabitat.pt));
- ✓ **RCP – UNIDADES DE ALVENARIA**. Sistema DAPHabitat. Versão 1.1, 2020 (em [www.daphabitat.pt](http://www.daphabitat.pt));
- ✓ **NP ISO 14025:2009** Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais Tipo III – Princípios e procedimentos;
- ✓ **NP EN 15804:2012+A1:2013** Sustentabilidade das obras de construção. Declarações ambientais dos produtos. Regras de base para as categorias de produtos de construção
- ✓ **DNP CEN/TR 15941:2014** Sustentabilidade das obras de construção Declarações ambientais de produto. Metodologia para seleção e uso de dados genéricos
- ✓ **EN 15942:2011** Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Communication format business-to-business.
- ✓ **EN 771-3:2011+A1:2015** Especificações para unidades de alvenaria; Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves).

## **ANEXO III**

Catálogo do fabricante Secil [69]

**1. DESCRIÇÃO**

O **ISODUR ONE** é uma argamassa seca, formulada a partir de ligantes mistos, agregados especiais de muito baixa densidade (Poliestireno Expandido - EPS) e adições, destinada à execução de rebocos exteriores e interiores de isolamento térmico.

É um produto vocacionado para aplicação projetada.

**2. DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO**

O **ISODUR ONE** é utilizado como reboco de isolamento térmico, aplicado sobre suportes em alvenaria de tijolo, blocos de betão, betão ou madeira, sendo constituinte do sistema de revestimento isolante que promove o tratamento térmico das paredes envolventes utilizando pano simples e/ou duplo.

Utilizado em intervenções de renovação de edifícios, a aplicação de **ISODUR ONE** constitui um método prático e eficiente para incrementar o desempenho térmico daquelas construções, quer se trate de paredes de pano duplo quer de monolíticas.

O sistema do revestimento isolante que integra o **ISODUR ONE** foi desenvolvido para fazer face às exigências regulamentares. O sistema aplicado de forma contínua nas superfícies da envolvente promove o tratamento eficaz das pontes térmicas, contribuindo de forma muito importante para a prevenção de patologias na construção.

O **ISODUR ONE** pode ainda ser utilizado como produto de enchimento leve de pavimentos e coberturas.

**3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO (\*)**

| Características                       | Valor                       | Norma      |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------|
| Cor                                   | Branco                      | -          |
| Granulometria                         | < 3,5 mm                    | EN 1015-1  |
| Produto em pasta                      | Valor                       | Norma      |
| Água de amassadura                    | 140,0 % ± 5,0 %             | -          |
| Massa volúmica                        | 300 ± 50 kg/m <sup>3</sup>  | EN 1015-6  |
| Consumo teórico                       | 10 l/m <sup>2</sup> /cm     | -          |
| Produto Endurecido                    | Valor                       | Norma      |
| Resistência à compressão              | Classe CS I                 | EN 1015-11 |
| Aderência ao tijolo / Modo de fratura | ≥0,06 N/mm <sup>2</sup> / B | EN 1015-12 |

|                                 |                            |            |
|---------------------------------|----------------------------|------------|
| Massa volúmica                  | 200 ± 50 kg/m <sup>3</sup> | EN 1015-10 |
| Capilaridade                    | W <sub>c</sub> 1           | EN 1015-18 |
| Permeabilidade ao vapor de água | ≤ μ 20                     | EN 1015-19 |
| Reação ao Fogo                  | Classe B-s1-d0             | EN 998-1   |
| Condutibilidade térmica         | 0,05 W/(m.°C)              | EN 12664   |

(\*) Os resultados e consumos apresentados foram obtidos em ensaios realizados em condições de laboratório, normalizadas, podendo variar em obra em função das condições de aplicação e do equipamento utilizado para aplicação.

#### 4. APLICAÇÃO

##### a) Preparação de suportes

Os suportes devem estar isentos de poeiras, descofrantes, matérias desagregadas ou instáveis, eflorescências, bem como, de qualquer tipo de material que afete as normais condições de aderência.

Em tempo quente ou seco o suporte deve ser humedecido com água iniciando-se a sua aplicação quando este se mostrar seco.

Em superfícies de betão, em especial em tetos e zonas de significativo desenvolvimento ou solicitação, deve preparar-se o suporte com uma camada de aderência (**REDUR AD 90**, **REDUR FIX** e/ou **REDUR CHAPISCO**).

Em aplicações sobre suportes antigos ou em operações de reabilitação de edifícios, sugerimos a consulta prévia dos nossos Serviços Técnicos.

##### b) Preparação da mistura

O **ISODUR ONE** deve ser amassado em equipamento de projeção com pré-amassadura do produto e equipado com misturador próprio para agregados leves, respeitando uma proporção de 8,0 a 8,5 litros de água por cada saco de 38 l de produto.

##### c) Aplicação

O **ISODUR ONE** deve projetar-se diretamente sobre os suportes dispondo a argamassa horizontalmente em cordões sobrepostos, de baixo para cima. Finalizada a projeção de uma camada deve nivelar-se utilizando régua metálicas adequadas, efetuando passagens de baixo para cima, à semelhança dos rebocos projetados convencionais (ver alínea d) Espessuras).

Obtida a espessura total de enchimento convenientemente nivelada com régua metálica, deve proceder-se à preparação da superfície do reboco. Este processo efetua-se com recurso a uma régua de corte tendo como objetivo remover os excessos de material e tornar a superfície de reboco rugosa, promovendo uma melhor aderência da camada de regularização. Este processo deve ser executado durante as primeiras 24 horas após finalizada a projeção.

Após preparação da superfície do reboco **ISODUR ONE** deve permitir-se uma secagem entre 1 e 2 dias por cada centímetro de espessura antes da aplicação da camada de regularização (as condições meteorológicas serão essenciais na determinação deste período).

# ISODUR ONE

## REBOCO TÉRMICO PROJETADO

O **ISODUR ONE** deve ser regularizado com **ISOVIT FIBRAFLEX** ou **ISODUR PK FLEX**, de acordo com as condições técnicas de aplicação indicadas nas respetivas fichas técnicas e em concordância com o acabamento final pretendido.

A aplicação de **ISODUR ONE** deve ser desligada dos elementos rígidos de fachada (peitoris, beirados, varandas, pilares, etc.) deixando uma junta de 3 a 5 mm para preencher com material impermeável e elástico do tipo mástique.

No remate com o solo ou em zonas enterradas, é indispensável realizar-se a impermeabilização exterior do sistema (após camada de regularização) em toda a superfície exposta à potencial presença de água do terreno.

Os remates superiores do sistema (beirados, platibandas ou outros), devem garantir a estanquicidade à água e impedir escorrências pela fachada.

Respeitar as juntas de dilatação da fachada, utilizando soluções específicas para a sua execução como **ISOVIT PERFIL JUNTA DE DILATAÇÃO**.

De forma a minimizar as juntas de trabalho, deverá assegurar-se, sempre que possível, a execução de panos completos. A retoma das juntas de trabalho deve ser realizada num prazo máximo de 12 horas.

### d) Espessuras

A aplicação de **ISODUR ONE** deve ser realizada com espessuras totais entre 20 a 100 mm. Para espessuras superiores a 40 mm recomenda-se a execução do reboco térmico em duas camadas de espessura idêntica separadas por um intervalo não inferior a 2 horas. A espessura de cada subcamada não deve exceder os 4 cm. Para espessuras totais superiores às mencionadas (100 mm) recomenda-se o reforço do reboco **ISODUR ONE** com a incorporação de uma rede de fibra de vidro com características próprias para o efeito, fixada ao suporte com buchas adequadas.

No caso de aplicação do **ISODUR ONE** em suportes pouco absorventes como é o caso de suportes em betão, a camada inicial de **ISODUR ONE** não deve exceder os 2 cm de espessura.

### e) Restrições

O **ISODUR ONE** não deve ser aplicado a temperatura inferior a 5 °C e superior a 30 °C. O seu tempo de cura é de 24 a 48h por centímetro aplicado, sendo as condições climáticas fundamentais para determinar essa cura.

A aplicação na presença de ventos fortes pode provocar a fissuração do **ISODUR ONE**. Assim recomenda-se a proteção dos paramentos de modo a minimizar os efeitos da ação do vento.

Eventuais aplicações em sistemas de colagem sobre sistema **ISODUR**, carecem sempre de validação técnica. Para o efeito sugerimos a consulta dos nossos serviços técnicos.

### f) Conselhos Complementares

A água de amassadura deve ser isenta de impurezas (argila, matérias orgânicas), devendo, de preferência, ser potável.

Não deve ser aplicada qualquer argamassa que tenha iniciado o processo de presa. Não amolentar as argamassas pela adição de água, após preparação.

Não adicionar quaisquer outros produtos à argamassa, devendo o **ISODUR ONE**, ser aplicado tal como é apresentado na sua embalagem de origem.

## 5. EMBALAGEM E VALIDADE

### Embalagem

Sacos de papel de 38 l em paletes plastificadas de 50 sacos.

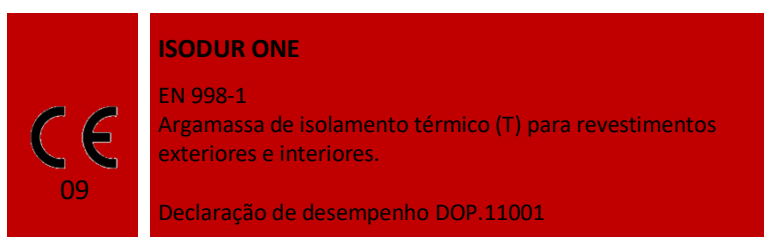
### Validade

12 meses, desde que permaneçam inalteradas as condições da embalagem originais e em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e da humidade.

## 6. HIGIENE E SEGURANÇA

(NÃO DISPENSA A CONSULTA DA FICHA DE SEGURANÇA DO PRODUTO)

- Irritante para os olhos, vias respiratórias e pele;
- Pode causar sensibilização em contato com a pele;
- Não respirar as poeiras;
- Evitar o contato com a pele e os olhos;
- Em caso de contato com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista;
- Usar vestuário de proteção e luvas adequadas;
- Conservar fora do alcance das crianças.



*Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance não nos responsabilizamos pela sua incorreta utilização. É dever do cliente verificar a adequabilidade do produto para o fim previsto. Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida. A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio. Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos serviços técnicos.*

Revisão de maio 2021  
FT 11001.06

# DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

DOP.11001

Versão: 4.0/PT

Data de Revisão: Maio / 2021

**SECILTEK**

DÁ FORMA ÀS IDEIAS

Data de Impressão: Maio 18, 2021

## 1. CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO ÚNICO DO PRODUTO TIPO:

ISODUR ONE

## 2. UTILIZAÇÕES PREVISTAS:

Argamassa industrial de ligantes inorgânicos para isolamento térmico de exteriores e interiores.

## 3. FABRICANTE:

Indústria de Rebocos de Portugal, S.A.

Apartado 33

2040-998 Rio Maior

**Denominação Comercial:** SECILTEK

## 4. SISTEMA DE AVALIAÇÃO E VERIFICAÇÃO DA REGULARIDADE DE DESEMPENHO DO PRODUTO:

Sistema 4.

## 5. NORMA HARMONIZADA:

EN 998-1:2016

SECILTEK realizou a determinação do produto-tipo com base nos ensaios de tipo, nos cálculos de tipo, nos valores tabelados e o controlo da produção em fábrica.

# DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

DOP.11001

Versão: 4.0/PT

Data de Revisão: Maio / 2021

**SECIL TEK**

DÁ FORMA ÀS IDEIAS

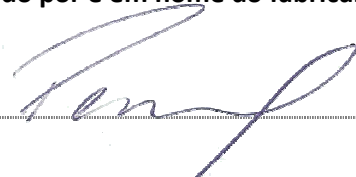
Data de Impressão: Maio 18, 2021

## 6. DESEMPENHO DECLARADO:

| Características essenciais        | Desempenho   | Especificações técnicas harmonizadas |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| Aderência / FP                    | $\geq 0.06 \text{ N/mm}^2 / \text{A e B}$  | EN 998-1:2016                        |
| Absorção de água por capilaridade | Classe $W_{c1}$  |                                      |
| Permeabilidade ao vapor de água   | $\mu \leq 15$  |                                      |
| Reação ao fogo                    | Classe B-s1-d0   |                                      |
| Condutibilidade térmica           | Classe T1  |                                      |
| Durabilidade                      | Até existir ensaio normalizado, a avaliação é baseada em disposições validadas no local de utilização da argamassa |                                      |
| Substâncias Perigosas             | Consultar a FDS*   |                                      |

**7. O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados. A presente declaração de desempenho é emitida em conformidade com o regulamento (UE) nº 305/2011, sob exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.**

Assinado por e em nome do fabricante por:



Pedro Soveral

(Diretor Geral)

Rio Maior, 18 de Maio de 2021