

University of Cantabria / University of Oviedo

Organizers:



# REHABEND 2024

## Euro-American Congress

CONSTRUCTION  
PATHOLOGY,  
REHABILITATION  
TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT

Gijón (Spain) - May 7<sup>th</sup> - 10<sup>th</sup>, 2024

Sponsor entities:



# ***REHABEND 2024***

***CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT***

*(10<sup>th</sup> REHABEND Congress)*

**Gijón (Spain), May 7<sup>th</sup>-10<sup>th</sup>, 2024**

PERMANENT SECRETARIAT:

**UNIVERSITY OF CANTABRIA**

Civil Engineering School

Department of Structural Engineering and Mechanics

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros 44, 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 761 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: [rehabend@unican.es](mailto:rehabend@unican.es)

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

**10<sup>TH</sup> EURO-AMERICAN CONGRESS ON CONSTRUCTION PATHOLOGY,  
REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT  
REHABEND 2024**

ORGANIZED BY:



UNIVERSITY OF CANTABRIA (SPAIN)  
[www.unican.es](http://www.unican.es)



Universidad de Oviedo

UNIVERSITY OF OVIEDO (SPAIN)  
[www.uniovi.es](http://www.uniovi.es)

CONGRESS CHAIRMEN:  
**IGNACIO LOMBILLO**  
**ALFONSO LOZANO**

CONGRESS COORDINATORS:  
**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**

EDITORS:  
**YOSBEL BOFFILL**  
**IGNACIO LOMBILLO**  
**HAYDEE BLANCO**

GUEST EDITOR:  
**ALFONSO LOZANO**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE:  
**HUMBERTO VARUM – UNIVERSITY OF PORTO (PORTUGAL)**  
**PERE ROCA – TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA (SPAIN)**  
**ANTONIO NANNI – UNIVERSITY OF MIAMI (USA)**

The editors does not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published. The information and opinion contained in the publications are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete.

The appearance of advertisements in these Scientific Publications (Printed Book of Abstracts & Digital Book of Articles - REHABEND 2024) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors does not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements.

The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and REHABEND 2024 Congress can not be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by REHABEND 2024 Congress is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic or printed publications is explicitly subjected to prior approval by REHABEND 2024 Congress.

ISSN: 2386-8198 (printed)

ISBN: 978-84-09-58990-6 (Printed Book of Abstracts)

ISBN: 978-84-09-58989-0 (Digital Book of Articles)

Legal deposit: SA - 132 - 2014

Printed in Spain by Círculo Rojo

## CODE 186

### COMPARATIVE STUDY OF CONSTRUCTION OPTIONS BASED ON SUSTAINABILITY ASSUMPTIONS

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

**Rivani, Maria L. A.<sup>1</sup>; Oliveira, Rui A. F.<sup>2</sup>; Ribeiro, Rodrigo S.<sup>3</sup>.**

Departamento Construções Civas e Planeamento.  
Instituto Politécnico de Bragança.  
e-mail: (1) [mlarivani.pt@gmail.com](mailto:mlarivani.pt@gmail.com); (2) [roliveira@ipb.pt](mailto:roliveira@ipb.pt)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
3: e-mail: [rodrigossribeiro@utfpr.edu.br](mailto:rodrigossribeiro@utfpr.edu.br)

#### 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 permissão, o objetivo do estudo é realizar uma análise comparativa entre soluções construtivas que sejam detentoras de pressupostos de maior sustentabilidade e que atendam os requisitos mínimos de comportamento térmico, com o fim de procurar 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, foram analisadas a partir dos resultados coletados de diferentes categorias de impacto ambiental, tais como: GWP, ODP, AP, entre outros. Estudos bibliográficos foram realizados para sustentar a análise, além da consulta das DAP utilizadas em produtos de construção aplicados nas diferentes soluções estudadas. Os resultados baseiam-se numa proposta de solução para a reabilitação de uma edificação, que pode ser substituída por processos construtivos sustentáveis e termicamente eficientes, que são passíveis de aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade; Reabilitação; Isolamento; Soluções; Redução GEE.

#### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado da urbanização presente no século XX, ligado ao aumento populacional, refletem na expansão das cidades de forma desordenada [1]. Nos últimos anos, tal crescimento influenciou diretamente no aumento do consumo por recursos naturais, energia e água potável. Como consequência, essa realidade impactou na geração de resíduos de construção e demolição (RCD's), forçando órgãos oficiais a propor soluções sustentáveis para evitar os problemas ambientais [2]. Diante disso, pesquisadores e profissionais da área, apontam a importância da utilização de materiais e tecnologias inovadoras no mercado da construção civil como uma forma de reduzir os danos causados ao meio ambiente [3]. Um excelente método de contribuição é observar as reabilitações de edifícios, que tendem a ser frequentes em toda a Europa e, especificamente, em Portugal. Segundo a ADENE, até 2050, prevê-se a reabilitação de 100% dos edifícios do Parque Nacional de Edifícios através da ELPRE, com o intuito de melhorar seu desempenho energético e progressiva descarbonização, além do foco em 7 eixos de atuação, num investimento que ao final pode chegar à casa dos 143 bilhões de euros [4].

O presente artigo aborda uma análise comparativa de opções construtivas para a reabilitação de uma edificação localizada na cidade de Bragança, Portugal. O objetivo principal desta pesquisa é identificar alternativas construtivas que minimizem o impacto ambiental durante o processo de reabilitação, ao mesmo tempo em que promovam maior eficiência energética, redução do consumo de recursos naturais e bem-estar para os ocupantes. São escolhidos materiais alternativos considerados isolantes térmicos para a adaptação da parede exterior e opções de esquadrias para substituir os envidraçados existentes. O artigo encontra-se estruturado em introdução, desenvolvimento, metodologia de investigação, estudo de caso, abreviações e siglas e, por último, principais conclusões.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Eficiência Energética**

O setor da construção civil demanda de um elevado consumo de energia, que muitas vezes é proveniente de combustíveis fósseis e fontes de energias não renováveis, geradora de gases associados ao efeito estufa. Sabe-se que a etapa da construção de uma edificação, corresponde a aproximadamente 12% da energia consumida por esse edifício, que posteriormente gerará um maior consumo energético para utilização de equipamentos de aquecimento e arrefecimento do ar e de água, ventilação e demais aparelhos elétricos utilizados durante a vida útil da 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 [5]. Em Portugal, o setor da construção enfrenta uma crise, que está ligada a indicadores desfavoráveis de envelhecimento das estruturas, taxas de desocupação elevadas e ineficiência energética dos edifícios existentes. Portanto, uma forma de adotar melhores estratégias de eficiência energética é optar por soluções passivas e com melhores desempenhos térmicos para a reabilitação de edifícios [6].

### **2.2 Construção Sustentável e Reabilitação de Edifícios**

A construção sustentável promove alterações nas edificações, enquanto tem a preocupação com a preservação do meio ambiente, de forma a atender às necessidades de utilização do ser humano e garantir a qualidade de vida das gerações atuais e futuras [7]. O conceito de construção sustentável emergiu nos anos 90 como resposta à necessidade de adaptar o setor da construção ao processo contínuo de desenvolvimento da sociedade. Essa perspectiva sustentável procura suprir às necessidades da atual geração, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades. Uma construção considerada sustentável, tem em seu processo de execução, a adoção de conjuntos fundamentais de medidas, desde a diminuição do consumo de água e energia com a utilização de fontes alternativas e renováveis, a redução da ocupação do solo, visando preservar áreas naturais e promover a biodiversidade, utilização de materiais mais eficientes energeticamente, advindo se possível de fontes recicláveis e não tóxicas, projetos que visem considerar o desempenho térmico na busca de um maior conforto para o utilizador e maior durabilidade da vida útil da edificação [8].

A reabilitação, apresenta-se como a principal via para uma construção sustentável através da extensão da vida útil do edifício. A reabilitação, enquanto conceito, compreende em um conjunto de intervenções que tem como objetivo adequar e aprimorar o seu desempenho funcional. Essas intervenções podem incluir, quando necessário, a reorganização do espaço interior, preservando, ao mesmo tempo, o esquema estrutural fundamental e a aparência externa original do edifício, sendo a maneira mais eficaz de reduzir o impacto na produção de energia, pois apresenta benefícios claros se comparados as construções raízes, como a redução da extração das matérias primas e da produção dos materiais de construção, uma diminuição dos estaleiros e das necessidades de transporte de materiais, além de uma eminente redução na perturbação causada a vizinhança, entre outros pontos [9] [10].

### 2.3 Isolamento Térmico

O isolamento térmico não contribui apenas para o conforto térmico, mas também resulta em uma significativa redução no consumo de energia. Isso ocorre porque um isolamento térmico eficaz impede a perda de calor. Além disso, oferece outras vantagens, como a melhoria da impermeabilidade das paredes e a redução das pontes térmicas, que podem levar à condensação e ao desenvolvimento de fungos nas paredes internas, entre outros problemas. A aplicação do isolamento térmico pode ser realizada em diversas áreas, como coberturas (telhados ou terraços), paredes externas, pavimentos térreos e em pontos críticos de transferência térmica, como ombreiras de portas e janelas, pilares, vigas e interseções com lajes, em conformidade com a legislação vigente [11]. A estratégia mais eficiente para reduzir o consumo de energia nos edifícios é a otimização do isolamento térmico. Um isolamento de qualidade resulta na redução das perdas de calor durante o inverno e na diminuição dos ganhos de calor durante o verão [12]. Um isolante térmico é definido como um material que oferece resistência ou dificulta a dissipação de calor, tornando-o essencial para melhorar nossa qualidade de vida diária. A capacidade de isolamento térmico de uma edificação é expressa pelo seu coeficiente de transmissão térmica,  $U$ . Quanto maior o valor do coeficiente, menor será a capacidade de isolamento do componente. Em outras palavras, a diminuição do valor de  $U$ , que é alcançada através do aumento da espessura do isolamento térmico, implica em um investimento inicial mais significativo, mas resulta em menores gastos energéticos ao longo da operação do edifício [6].

## 3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

O presente artigo aborda uma análise de opções construtivas baseadas no pressuposto de sustentabilidade para a reabilitação de uma habitação unifamiliar, com o objetivo de satisfazer os requisitos mínimos de eficiência térmica para a edificação localizada na cidade de Bragança, Portugal. Trata-se de um estudo de caso que envolve uma habitação existente a qual não cumpre os requisitos mínimos de desempenho energético, previstos na Portaria n.º 138-I/2021 de 01 de julho de 2021 [13], relativo à envolvente exterior do edifício. O estudo baseia-se no projeto arquitetônico e nas definições construtivas da residência. A metodologia adotada neste estudo de caso está esquematizada na Figura 1.

Para esta investigação será considerado restaurar dois itens básicos da edificação, sendo eles a envolvente exterior e os vãos envidraçados, Figura 2a e 2b. A cobertura também é um componente construtivo com muitas perdas térmicas, porém não será contemplada nesse estudo. Para a reabilitação da envolvente exterior foi escolhido incorporar componentes térmicos na parede externa e substituir os vãos externos da edificação. Foram escolhidas quatro opções de materiais de isolamento para agregar na composição da parede, sendo eles: o poliestireno expandido (EPS), a lã de rocha, a lã de vidro e a cortiça, e duas opções de materiais para a substituição dos vãos envidraçados, sendo eles: esquadrias de pvc com vidro duplo e esquadrias de madeira com vidro duplo. Para a análise de sustentabilidade foram utilizados os parâmetros de impacto ambiental, tais como: GWP, ODP, AP, entre outros [14], e para o estudo do desempenho térmico dos materiais foi realizado o cálculo do coeficiente de transmissão térmica de cada um deles incorporado na composição da envolvente, estabelecido na Norma EN ISO 6946 [15]. Então, fez-se uma análise comparativa entre as diferentes opções construtivas e seus parâmetros estudados, concluindo qual delas demonstra ser a opção ideal para aplicação, embora não seja possível generalizar os resultados do estudo de caso [16].

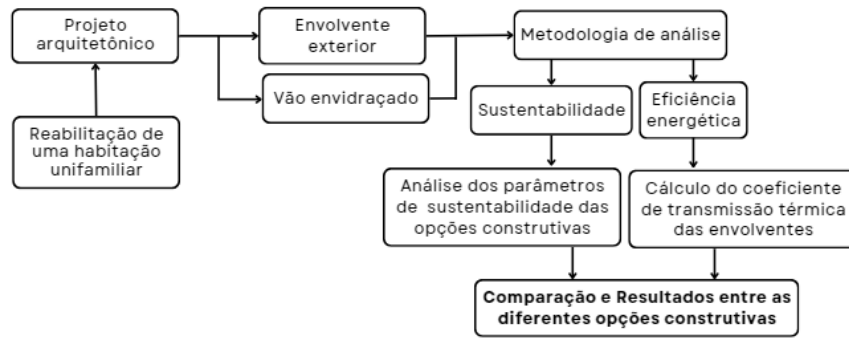


Figura 1: Esquema da metodologia de análise.



Figura 2a: Edificação de estudo.

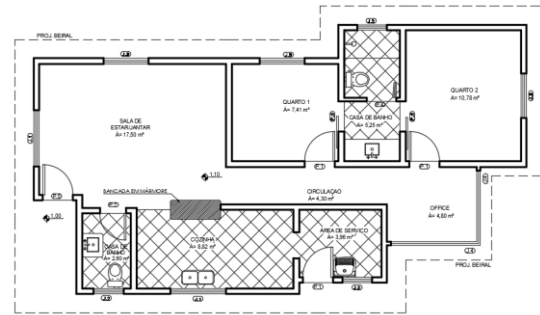


Figura 2b: Planta do projeto arquitetônico.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 Descrição do Projeto

O projeto objeto deste estudo envolve a reabilitação de uma habitação unifamiliar localizada na cidade de Bragança, com o objetivo de escolher a melhor opção construtiva para utilização, considerando como pré-requisito a alternativa de menor impacto ambiental e de comportamento térmico satisfatório para a região. O edifício possui 76,10m<sup>2</sup> de área útil distribuídos entre dois quartos, duas casas de banho, office (escritório), circulação, área de serviço, cozinha e sala de estar/jantar, em um pavimento térreo, Figura 2b. É formada por uma construção tradicional básica, constituída por uma cobertura de telha cerâmica inclinada com seis águas, estrutura em betão armado, blocos cerâmicos de espessura de 20 centímetros e esquadrias de vidro simples.

Para o desenvolvimento da análise foi considerado o projeto arquitetônico da edificação, Figura 2b, e as condições climáticas do local onde a residência se encontra. A partir disso, foi possível classificar a região como uma zona climática de inverno do tipo I3 e uma zona climática de verão do tipo V2 [17]. Diante dessa denominação, foi possível estabelecer o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo da envoltura opaca do edifício, presente em Portugal Continental, como sendo  $U_{máx} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] e o coeficiente de transmissão térmica do vão, como sendo  $U_{máx} = 2,20$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] [13].

### 4.2 Análise do Comportamento Térmico

Seguindo a metodologia de estudo, neste capítulo será analisado o comportamento térmico dos materiais, a fim de encontrar qual opção construtiva apresentará uma maior eficiência térmica e em seguida um menor impacto ambiental. Foi possível estabelecer o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo da envoltura opaca do edifício, presente em Portugal Continental, como sendo  $U_{máx} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] e o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, como sendo  $U_{máx} = 2,20$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] [13]. Tais parâmetros servirão de base para as análises a seguir.

**i. Parede Exterior**

Para a análise do comportamento térmico da parede exterior, inicialmente foi considerado os valores de resistência térmica superficial seguindo o sentido do fluxo de calor [17], somado à constituição de cada camada pertencente a envolvente. A espessura inicial da parede foi fornecida em projeto e o índice de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de cada revestimento [18] foi considerado para encontrar a resistência térmica total da mesma. Na Tabela 1 é possível visualizar o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior na sua forma inicial, antes de passar pelo processo de reabilitação, sem nenhum tipo de isolamento térmico. Diante do resultado é possível identificar claramente que a parede exterior no seu formato original não cumpre o requisito estabelecido para a região onde está situado, apresentando um valor de U maior do que o valor máximo estabelecido de  $U_{m\acute{a}x} = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

Tabela 1: Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior sem isolamento térmico.

Constituição da Camada	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .°C/W)
Rse	-	-	0,04
Argamassa de reboco exterior	0,01	1,30	0,01
Tijolo Furado (20x20x30)	0,20	0,34	0,59
Argamassa de reboco interior	0,01	1,30	0,01
Rsi	-	-	0,13
<b>Resistência Térmica Total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>			0,77
<b>Coeficiente de Transmitância Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			1,29

Nas Tabelas 2 a 5 é possível analisar os diferentes comportamentos térmicos da parede quando incorporado aos diferentes materiais de isolamento térmico na sua composição, sendo estes: EPS, lã de rocha, lã de vidro e cortiça, respectivamente.

Tabela 2: Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior com isolamento em EPS.

Constituição da Camada	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .°C/W)
Rse	-	-	0,04
Argamassa de reboco exterior	0,010	1,300	0,01
Tijolo furado (20x20x30)	0,200	0,340	0,59
Poliestireno Expandido (EPS)	0,071	0,035	2,03
Placa de gesso cartonado	0,013	0,250	0,05
Rsi	-	-	0,13
<b>Resistência Térmica Total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>			2,85
<b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			0,35

Tabela 3: Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior com isolamento em Lã de Rocha.

Constituição da Camada	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .°C/W)
Rse	-	-	0,04
Argamassa de reboco exterior	0,010	1,300	0,01
Tijolo furado (20x20x30)	0,200	0,340	0,59
Lã de Rocha	0,077	0,038	2,03
Placa de gesso cartonado	0,013	0,250	0,05
Rsi	-	-	0,13
<b>Resistência Térmica Total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>			2,84
<b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			0,35

Tabela 4: Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior com isolamento em Lã de Vidro.

Constituição da Camada	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .°C/W)
Rse	-	-	0,04
Argamassa de reboco exterior	0,010	1,30	0,01
Tijolo furado (20x20x30)	0,200	0,34	0,59
Lã de Vidro	0,081	0,04	2,03
Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05
Rsi	-	-	0,13
<b>Resistência Térmica Total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>			2,84
<b>Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			0,35

Tabela 5: Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior com isolamento em Aglomerado de Cortiça.

Constituição da Camada	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> .°C/W)
Rse	-	-	0,04
Argamassa de reboco exterior	0,010	1,30	0,01
Tijolo furado (20x20x30)	0,200	0,34	0,59
Aglomerado de Cortiça (ICB)	0,081	0,04	2,03
Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05
Rsi	-	-	0,13
<b>Resistência Térmica Total (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>			2,84
<b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			0,35

Analisando as tabelas acima, todos os materiais de isolamento, somados às demais camadas de constituição da parede, resultam em um valor de  $U = 0,35$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)], o que revela que todas as opções são eficientes termicamente, mesmo com uma pequena variação entre eles na espessura. Então, para definir o material ideal, deve-se considerar a análise de sustentabilidade e optar pela opção de menor impacto ambiental.

### ii. Vãos Envidraçados

Para estudar o comportamento térmico das opções envidraçadas será analisado dois tipos de materiais, sendo uma em pvc e outra em madeira, Figura 3, ambas constituídas por vidro duplo 4mm. As envoltentes envidraçadas são vãos que apresentam uma área de vidro igual ou superior a 25% da sua área total, sendo assim, sua caracterização é estabelecida por norma [18] e o valor de  $U = 2,20$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]. Então, como o coeficiente de transmissão térmica de ambas é igual, para definir o material ideal deve-se considerar a análise de sustentabilidade e optar pela opção mais sustentável.



Figura 3: Detalhamento dos vãos envidraçados, fonte: [14].

## 4.3 Análise de Sustentabilidade

Seguindo a metodologia de estudo, neste capítulo será analisado os parâmetros de impacto ambiental de cada material apresentado, a fim de encontrar qual opção será a mais viável de utilização no processo de reabilitação, escolhendo pelo material de menor impacto ambiental, ou seja, mais sustentável e mais vantajoso quando avaliamos o seu comportamento térmico. Para analisar os impactos de cada opção construtiva será considerado a fase do ciclo de vida “Cradle-to-gate” (do berço ao portão).

### i. Parede Exterior

Na Tabela 6 é possível visualizar a quantificação das categorias de impacto ambiental para a produção de 1kg de cada tipo de material considerado em estudo.

Tabela 6: Quantificação das categorias de impacto ambiental [14].

Materiais	Categorias de Impacto Ambiental de LCA							
	ADP (kgSb)	GWP (kgCO <sub>2</sub> )	ODP (kgCFC-11)	AP (kgSO <sub>2</sub> )	POCP (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	EP (kgPO <sub>4</sub> )	ENR MJ	ER 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
Lã de Rocha	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
Lã de Vidro	1,43E-02	1,50E+00	2,15E-07	6,42E-03	5,57E-04	1,18E-03	4,50E+01	4,14E+00
Cortiça	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01

Diante desses dados, não se torna viável comparar as categorias de impacto ambiental das diferentes opções baseadas na produção de 1kg de cada um destes tipos de isolamento térmico, pois cada material apresenta características próprias. Sendo assim, para esse estudo será considerado analisar 1m<sup>2</sup> de material ligado à determinação de uma espessura que satisfaça os requisitos mínimos de resistência térmica equivalentes para a região em estudo [19]. No item 4.2 foi possível visualizar as espessuras necessárias de cada material para satisfazer um coeficiente de resistência térmica  $R = 2,03 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ , sendo assim, cada um deles necessita de um peso próprio associado com a respectiva espessura e área (Tabela 7). Para calcular o peso próprio de cada material correspondente a 1m<sup>2</sup> de área associado a espessura necessária para atingir a resistência térmica estabelecida, será utilizado as equações (1) e (2), e é possível visualizar as respostas para esses cálculos na Tabela 7.

$$PP = pV \quad (1)$$

$$V = Ae \quad (2)$$

Onde: **PP**: Peso próprio; **p**: Peso específico; **V**: Volume; **A**: Área; **e**: Espessura.

Tabela 7: Cálculos e resultados para o peso próprio de cada material [19].

Materiais	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	e (m)	V (m <sup>3</sup> )	p (kg/m <sup>3</sup> )	PP (kg)
EPS	2,03	0,071	0,071	25	1,775
Lã de Rocha		0,077	0,077	100	7,700
Lã de Vidro		0,081	0,081	20	1,620
Cortiça		0,081	0,081	160	12,960

Multiplicando o valor do peso próprio de cada material pelos índices de impacto ambiental presentes na Tabela 6, é possível alcançar os resultados para a análise de sustentabilidade por material, Tabela 8.

Tabela 8: Impactos ambientais de cada material de acordo com seu Peso Próprio.

Materiais	Categorias de Impacto Ambiental de LCA							
	ADP (kgSb)	GWP (kgCO <sub>2</sub> )	ODP (kgCFC-11)	AP (kgSO <sub>2</sub> )	POCP (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	EP (kgPO <sub>4</sub> )	ENR MJ	ER MJ
EPS	8,22E-02	7,35E+00	1,95E-07	2,64E-02	1,20E-02	2,20E-03	1,86E+02	1,79E+00
Lã de Rocha	8,09E-02	1,12E+01	4,70E-07	6,41E-02	7,15E-03	3,43E-03	1,66E+02	7,54E+00
Lã de Vidro	2,32E-02	2,43E+00	3,48E-07	1,04E-02	9,02E-04	1,91E-03	7,29E+01	6,71E+00
Cortiça	1,35E-01	-8,48E+00	1,20E-06	6,99E-02	5,90E-03	8,53E-03	3,25E+02	3,53E+02

Diante dos resultados apresentados, é possível visualizar que o material que apresenta menores valores para as categorias de impacto ambiental é a lã de vidro. Apesar da cortiça apresentar o menor valor para a categoria GWP e o EPS apresentar os menores valores para as categorias ODP e ER, a lã de vidro será a opção mais sustentável de utilização para o projeto em estudo, seguindo-se da solução em EPS.

## ii. Vãos Envidraçados

Para a análise dos vãos envidraçados, será considerado dois tipos diferentes de esquadrias. A primeira delas é em caixilharia de material PVC e vidro duplo de 4mm cada e a segunda em caixilharia de madeira e vidro duplo de 4mm cada. Na Tabela 9 é possível visualizar a quantificação das categorias de impacto ambiental de cada tipo de material considerado em estudo.

Tabela 9: Quantificação das categorias de impacto ambiental dos vãos envidraçados [14].

Materiais	Categorias de Impacto Ambiental de LCA							
	ADP (kgSb)	GWP (kgCO <sub>2</sub> )	ODP (kgCFC-11)	AP (kgSO <sub>2</sub> )	POCP (kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	EP (kgPO <sub>4</sub> )	ENR MJ	ER MJ
PVC	8,67E-01	9,00E+01	1,98E-06	7,19E-01	2,40E-02	6,73E-02	1,77E+03	1,15E+01
Madeira	3,64E-01	2,19E+00	5,42E-06	3,75E-01	2,29E-02	3,12E-02	6,79E+02	6,02E+00

Diante dos dados coletados, é possível visualizar que a esquadria que apresenta menores valores para as categorias de impacto ambiental é a esquadria em madeira. Apesar da esquadria em PVC apresentar o

menor valor para a categoria ODP, a madeira será a opção mais sustentável de utilização para o projeto em estudo.

## 5. ABREVIACÕES E SIGLAS

ADENE	Agência para a Energia
ADP	Abiotic resources Depletion Potential – KgSb (Potencial de esgotamento de recursos abióticos)
AP	Acidification Potential – KgSO <sub>2</sub> – (Potencial de acidificação)
DAP	Declarações Ambientais de Produtos
ELPRE	Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios
ENR	Incorporated Non-Renewable Energy – MJ – (Energia não renovável incorporada)
EP	Eutrophication Potential – KgPO <sub>4</sub> – (Potencial de eutrofização)
EPS	Expanded Polystyrene (Poliestireno Expandido)
ER	Incorporated Renewable Energy – MJ – (Energia renovável incorporada)
GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	Global Warming Potential – KgCO <sub>2</sub> – (Potencial de aquecimento global)
ICB	Expanded Insulation Cork Board (Aglomerado de cortiça expandida)
LCA	Life-Cycle Analysis (Análise do ciclo de vida)
ODP	Ozone Depletion Potential – KgCFC-11 – (Potencial de destruição do ozônio)
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential – KgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Potencial de criação de ozônio fotoquímico)
R	Resistência Térmica
RCD's	Resíduos de Construção e Demolição
U	Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial
λ	Condutibilidade Térmica (W/m°C)

## 6. CONCLUSÃO

Esse estudo permite uma análise de sustentabilidade voltada para materiais de isolamento térmico aplicada a uma reabilitação de edifícios ao nível das paredes e envidraçados. A habitação em estudo está localizada na cidade de Bragança e apresenta ineficiência térmica, sendo possível aperfeiçoar a edificação reabilitando elementos básicos, trazendo conforto ao ambiente.

Como conclusão das análises realizadas, foi possível definir a lâ de vidro como o material isolante para incorporar na parede exterior sendo a opção que apresentou o menor impacto ambiental na sua fase do ciclo de vida “Cradle-to-gate”, e o melhor desempenho térmico. Ela também se destaca como um material que fornece um bom isolamento acústico, permitindo que a edificação em estudo se torne mais eficiente. Na categoria dos vãos envidraçados, foi possível determinar a esquadria de madeira com vidro duplo para a substituição das esquadrias de vidro simples, sendo a opção que também se apresentou mais sustentável e com um desempenho térmico aceitável. Vale destacar que a aplicação da lâ de vidro deve acontecer do lado interior da envolvente e o acabamento necessário da superfície deve ser em placa de gesso cartonado, como seria em qualquer outra opção definida. É importante salientar que, para o manuseio da lâ de vidro em obra, deve-se seguir todas as recomendações de higiene e segurança do trabalho. Por fim, este estudo destaca-se por priorizar a sustentabilidade no momento da escolha dos materiais adequados para a reabilitação e ao mesmo tempo considerar conforto e qualidade de vida aos habitantes.

## 7. BIBLIOGRAFIA

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

[2]: de Souza Carvalho, Gabrielly Cristina, Claudia Scoton Antônio Marques, and João Carlos Gonçalves Lanzinha. "ESTUDO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE NO BRASIL E EM PORTUGAL."

- [3]: CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 02, n. 01, p. 94-108. 2017.
- [4]: ADENE. *ELPRE prevê reabilitação de 100% dos edifícios até 2050*. <https://www.adene.pt/elpre-preve-reabilitacao-de-100-dos-edificios-ate-2050/> (acesso: julho 2023).
- [5]: Ganhão, António Miguel Ganço Dias. *Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Diss. FCT-UNL, 2011.
- [6]: Ferreira, Maria Amaro Matoso Aguiar. *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Diss. FCT-UNL, 2009.
- [7]: Márcio A. A. Em: A moderna construção sustentável. IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. Goiás, Brasil; 2008.
- [8]: Lucas, Vanessa Silvério. *Construção sustentável-sistema de avaliação e certificação*. Diss. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
- [9]: Córias, Vítor. "Reabilitação: a melhor via para a construção sustentável." Universidade Nova de Lisboa (2007): 1-23.
- [10]: Curado, A. J. C. (2014). Conforto térmico e eficiência energética nos edifícios de habitação social reabilitados.
- [11]: Lopes, N. L. ISOLAMENTO TERMICO. Laboratório de Construção da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2010/2011.
- [12]: IEEA. (2008). Guidebook on energy intelligent retrofitting. Intelligent Energy Europe Agency, Bruxelas.
- [13]: Portaria n.º 138-I/2021, de 01 de julho de 2021, Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação.
- [14]: Luís B, Ricardo M. Life-cycle analysis of buildings – Environmental impact of Building elements. 2012: 100p.
- [15]: ISO 6946:2017, Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation methods.
- [16]: Löbler M. L., Lehnhart E.R, Avelino A.F.A., Como estão sendo Conduzidos os Estudos De Caso? Uma Reflexão Sobre os Trabalhos Publicados na Área de Administração. XXXVIII Encontro da ANPAD, 2014, RJ.
- [17]: Direção geral de energia e geologia. Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios. 254p.
- [18]: 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 atualizada* (2006).
- [19]: de Carvalho, Tiago Pedroso de Lima. "Análise Comparativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas." (2021).