



isec
Engenharia

DEFINITIVO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**Análise de Eficiência Energética – Comparação
entre o regulamento português (REH) e o
documento espanhol (DB-HE)**

Autor

Dean Delmo de Freitas Oliveira Mousinho

Orientadores

Eduardo Natividade e Ivan Simões

Coimbra, Abril de 2021

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec
Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Análise de Eficiência Energética – Comparação
entre o regulamento português (REH) e o
documento espanhol (DB-HE)**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Especialização em Construção Urbana

Autor

Dean Delmo de Freitas Oliveira Mousinho

Orientador

Eduardo Manuel Natividade

Co-Orientadores

Ivan Simões

Coimbra, Abril de 2021

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Às vezes olho para o sol, um gigante forte, resplandecente, em esplêndida energia; depois olho para a lua, tão delicada, simpática e liberta em beleza. Ambos em sinergia.

Contemplar a “eficiência energética” do mundo é um passo para tentar compreendê-la. Sentir é entender o elo entre o passado, presente e o futuro em um paradigma sócio-tecnológico-ambiental do progresso humano, para o bem-estar do planeta, dos animais, das plantas e das pessoas.

Às vezes olho ao meu redor: - Eukaryota em um espelho, latente luz da vida.

Às vezes olho para mim e vislumbro a escuridão de um vale a ser energizado pela vida, um eterno aprendiz em busca de evoluir com saúde e paz, feliz por fazer parte desse universo em eterna e desarmônica harmonia do caos que desconhecemos.

Agradeço a Vida, a Natureza, a Deus, as Energias que fazem meu devir a cada dia e me ensinam que nem toda palavra de alegria nos faz bem e nem toda dor nos faz mal.

Agradeço a minha mãe Maria Aparecida, minha alma fraterna, que sempre foi a minha inspiração. Não me ensinou a ver, mas a enxergar de olhos fechados a beleza da vida e como lutar com sorriso no rosto, com o coração caridoso e com a alma de joelhos, ser forte e valente.

Agradeço aos anos de estudo de engenharia, que me levaram a “entender” que as forças sempre ocorrem em pares, ação e reação, e que uma única força isolada não pode existir, e aos anos do curso de publicidade e propaganda, que me ensinaram que a vida é quântica, dependendo do olhar do observador sobre o elemento contemplado. Aprendi que a Resiliência, a Gana, o Amor, o Sonho e a Emissividade, fazem o somatório para minha energia diária e sei que a vida continua para sempre, mesmo não vendo o universo em sua totalidade, pois, “Verás que um filho teu não foge à luta”.

Assim, agradeço com a energia do meu Corpo, aos meus filhos, Kimberly, Bryan e Liz, Armousinho's de minha vida, que fazem meu coração pulsar a cada dia, no sair da zona de conforto e batalhar para sermos melhores e humildes.

Agradeço aos inúmeros Maestros que passaram em minha vida, instruindo-me com apoio e sabedoria, limpando pacientemente a minha ignorância com carinho. Obrigado! Que o amor e a energia do mundo fluam em paz e harmonia entre nós.

“A dream you dream alone is only a dream. A dream you dream together is reality.”

— **John Lennon**

“Eu fico com a pureza da resposta das crianças. É a vida, é bonita e é bonita. Viver...
E não ter vergonha de ser feliz. Cantar e cantar e cantar. A beleza de ser um eterno aprendiz...”

— **Gonzaguinha**

RESUMO

A otimização energética é de grande importância para natureza e os seres humanos conseguem, através de metodologias e meios de produção, melhorarem a capacidade de controle energético e etapas de uma construção, manutenção ou análise, para o bem-estar físico, mental e social, das pessoas e do meio ambiente.

Sistemas racionais como o *Light Steel Framing* (LSF), associados a metodologia de Modelagem da Informação da Construção (BIM - *Building information modeling*), com os regulamentos para sistemas de Certificação Energética dos Edifícios, permitem ir além de uma construção rápida, precisa, eficiente e com desperdícios quase nulos, o que gera produtividade e sustentabilidade.

Assim em um recorte das comparações entre o REH (Regulamentos de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) de Portugal e o DB-HE (*Documento Básico - Ahorro de energía*), da Espanha, para uma edificação unifamiliar, em LSF por simulação computacional em BIM, procura-se encontrar soluções para uma construção mais saudável e amiga do meio-ambiente.

Levando-se em conta que a maneira de viver tem evoluído nos últimos anos e que a forma de construir também, um processo de trabalho integra diversas pessoas, e os *softwares* ajudam a unir todas as disciplinas da engenharia envolvidas na construção de um edifício de forma digital, na nuvem (Internet), abrindo um espaço para o planeamento de soluções sustentáveis. Assim é possível, simular modelos de edifícios energeticamente eficientes, desde uma fase muito inicial do projeto arquitetônico, até sua construção *in situ*, chegando ao conceito da Construção 4.0, um processo de industrialização econômica, sustentável e ágil na construção civil.

Palavras-Chave: Eficiência energética, Modelagem de informações de construção, BIM, LSF, REH, DB-HE, nZeb, Portugal, Espanha, Regulamento, Térmica, Aço Leve, Construção 4.0

ABSTRACT

Energy optimization is of great importance for the environment and for ourselves. Through methodologies and means of production, we can improve the capacity of energy control at different stages of construction through maintenance and analysis, for physical, mental and social well-being of human beings.

Rational systems such as Light Steel Framing (LSF), associated with the Building Information Modeling (BIM) methodology. The regulations for Building Energy Certification systems allow, in addition a faster more accurate construction, more efficient and with almost zero waste. This generates productivity and sustainability.

Thus, in a cut of comparisons between the Regulations of Energy Performance of Residential Buildings (REH - “*Regulamentos de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação*”) of Portugal and the Technical Code of Energy Saving CTE DB-HE (*Código Técnico Documento Básico - Ahorro de energía*) of Spain. For a single-family building by computer simulation, we seek to find solutions for a healthier and more environmentally friendly construction.

Taking into account the way living has evolved in recent years this also applies for construction. A working process integrates several people and the software, which helps to unite all the engineering disciplines involved in the construction of a building in a digital cloud; giving prime space for sustainable solutions. It is possible to simulate models of energy efficient buildings, from a very early phase of architectural design, to their construction *in situ*, reaching the concept of Construction 4.0, a process of economic, sustainable and agile industrialization in civil construction.

Key words: Energy Efficiency, Construction 4.0, Building Information Modeling, BIM, LSF, REH, DB-HE, nZeb, Portugal, Spain, Regulation, Thermal, Light Steel

ÍNDICE

1. CAPÍTULO - INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodologia	4
1.4. Organização do Trabalho	5
2. CAPÍTULO – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	6
2.1 Mensurando a eficiência energética dos edifícios	6
2.2 Edifícios energeticamente eficientes	7
2.3 Eficiência energética passiva e ativa nas edificações	8
2.4 Bem-estar e a eficiência energética.....	9
2.4.1. Conforto térmico interior.....	10
2.4.2. Qualidade interior do Ar.....	11
2.4.3. Conforto Visual	12
2.4.4. Conforto Acústico	14
2.4.5. Exposição ao radônio.....	15
2.5 Estratégica <i>nearly zero-energy buildings</i> (nZeb) na União Europeia.....	16
2.6 <i>Smart buildings</i> na eficiência energética	17
2.7 Classificação energética dos edifícios	17
3. CAPÍTULO – METODOLOGIA BIM E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	19
3.1 A metodologia <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	19
3.2 Interoperabilidade no protocolo IFC.....	19
3.3 Modelagem dos <i>softwares</i> da construção	20
3.4 Avaliação do Ciclo de Vida Energético.....	21
3.5 <i>Building Energy Modeling</i> (BEM) & BIM.....	23
3.6 Dimensões do BIM	24
3.6.1. BIM 6 D.....	24
3.7 Eficiência energética no BIM	25

4. CAPÍTULO – MODELO CONSTRUTIVO EM <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	27
4.1 O sistema <i>Light Steel Framing</i> na eficiência energética.....	27
4.2 O LSF e o BIM – O processo construtivo	31
4.3 Modelo Térmico em LSF para o caso em estudo	32
4.5 Patologias térmicas em LSF	35
5. COLETA DA INFORMAÇÃO DO IMÓVEL.....	36
5.1. Documentação oficial do imóvel	36
5.2. Avaliação energética - Orientações da envolvente	36
5.3. Zoneamento climático de referência.....	36
5.4. Requisitos gerais do levantamento dimensional	39
5.4.1. Envolvente	39
5.4.2. Arquitetura e Definição Geométrica.....	40
5.4.3. Espaço Útil - Habitável.....	43
5.5. Nomenclatura dos objetos construtivos	44
5.6. Definição Construtiva	46
5.6.1. Parede exterior E-PD1-1.....	47
5.6.2. Cobertura E-CO2-1	48
5.6.3. Pavimento Térreo S-PVE0-1	48
5.6.4. Parede Enterrada S-PDE1-0	50
5.6.5. Parede interior I-PD1-2	51
5.6.6. Parede interior I-PD1-1	51
5.6.7. Pavimentos entre pisos I-PV1-1	52
5.6.8. Pavimento entre pisos I-PV2-1.....	53
5.7. Elementos da Envolvente Envidraçada.....	54
5.7.1. Detalhe Construtivo – Ligação Superior - Caixa de Estore.....	55
5.8. Pontes Térmicas	56
5.9. Ventilação	57
5.10. Sistemas Técnicos	59
5.10.1. AQS	59

5.10.2.	Aquecimento e Arrefecimento	62
6.	AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS.....	63
6.1	Preparação de dados para comprovação das exigências	63
6.2	Requisitos de qualidade térmica da envolvente	63
6.2.1.	Zoneamento Climático - REH e DB-HE	64
6.3	Flutuação de temperatura	67
6.3.1.	REH – Inércia Térmica.....	68
6.3.2.	DB-HE - <i>Compacidad</i>	70
6.4	Coeficiente de redução de perdas	71
6.4.1.	Coeficiente de redução de perdas no Cypetherm	72
6.5	Coeficiente global de transmissão de calor através do envelope térmico do edifício	72
6.6	Vãos Envidraçados	73
6.7	Taxa de renovação do ar	74
6.8	Limitação de condensação	75
6.9	Sistemas Técnicos - Requisitos Gerais	75
6.9.1.	Instalações de iluminação e acústico	76
6.9.2.	<i>Horas fuera de consigna</i>	76
6.9.3.	Sistema Solar Térmico	76
6.10	Necessidades de energia útil	77
6.11	Âmbito das aplicações	78
7.	INDICADORES DE DESEMPENHO DE PORTUGAL E DA	
ESPANHA.....	79	
7.1	Indicadores de aquecimento e arrefecimento.....	79
7.2	Certificação energética REH e DB-HE.....	79
7.3	Indicadores utilizados em Portugal.....	80
7.3.1.	Classe energética para certificação energética (R_{Nt})	82
7.3.2.	Facilidade para obter nZeb em Portugal.....	83
7.4	Indicadores utilizados na Espanha	83
7.4.1.	Escala de qualificação EEE na Espanha.....	84
7.4.2.	Facilidade para obter nZeb na Espanha.....	85
8.	RESUMO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - REH E DB-HE.	87

8.1	Implementação da EPBD (<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>)	87
8.2	Resumo comparativo entre os requisitos REH e DB-HE	89
8.3	Caracterização dos dados comparativos do cypetherm	89
8.4	Resumo DB-HE 2019 e Cypetherm HE Plus	90
8.5	Comparação de Indicadores entre Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus	91
8.6	Resumo dos cálculos na simulação de desempenho energético	92
8.7	Resumo comparativo da simulação de desempenho energético	93
8.8	Diferenças encontradas entre o REH e o DB-HE	94
8.9	Fator de conversão de emissão de CO ₂ para energia primária - Portugal e Espanha	95
8.10	Processo Português de Certificação energética das edificações	95
8.11	Processo Espanhol de Certificação energética das edificações	96
8.12	Classificação Energética obtida em Portugal e Espanha pela simulação	97
9.	CONCLUSÃO	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 (APA, 2012)	3
Figura 2 - Fatores para temperatura de conforto interior (<i>Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings</i> , 2019)	10
Figura 3 - <i>Effect of Thermal Environment on Discomfort</i> (ASHRAE Handbook, 2013)	11
Figura 4 - Distribuição da radiação solar na atmosfera alta e no nível do mar, em diferentes circunstâncias (<i>Iluminación de Edificios</i> , 2005).....	13
Figura 5 - Exemplo de análise luminotécnica com o <i>software</i> Dialux Evo (DIAL, 2021)	13
Figura 6 - Curvas de igual sensação sonora (Isofónicas)/Superfície de audição (FAUUSP, 2018)	14
Figura 7 - <i>Indoor radon</i> concentration Portugal e Espanha 2021 (REMON, 2021)	16
Figura 8 – Parametrização das propriedades do objeto aço no Revit 2020 (Revit 2020 - Kanuf)	21
Figura 9 – Ciclo de vida do BIM (Autodesk, 2020).....	21
Figura 10 – Processos em Energia Sustentável das edificações (Paris <i>et al.</i> , 2020)	22
Figura 11 - Visualização do parâmetro de conforto térmico (PMV - <i>Predicted Mean Vote</i>) na sala de reuniões (SimScale thermal, 2021).....	24
Figura 12 – Gráfico comparativo (Curva de MacLeamy (2004)) entre o processo tradicional de desenvolvimento de projetos (CAD) e o processo BIM (CBIC, 2016).....	25
Figura 13 - Exemplo de aplicação dos materiais em uma seção transversal de parede em LSF	27
Figura 14 - Esquema de uma estruturada no sistema <i>Ligth Steel Framing</i> (CBCA, 2003).....	29
Figura 15 - Módulo de parede no sistema LSF (Martins et al, 2017)	30
Figura 16 – Exemplo de sistema de painel Fachada da empresa Saint-Gobain (Passivehaus Portugal, 2018)	30
Figura 17 - Fachada leve de placas (Sistema Placotherm Integra "PLACO", 2021)	30
Figura 18 - <i>Design-led construction</i> em LSF (FRAMECAD, 2021)	31
Figura 19 - Ponte térmicas dos paines em LSF (ACEDUR, 2021)	33
Figura 20 - LSF <i>Hybrid frame construction</i> - Estruturas das camadas da fachada (Roque e Santos, 2017)	33
Figura 21 - Escala de temperatura (<i>Software</i> THERM Version 7.4.3, 2016).....	34
Figura 22 - Térmica LSF <i>Hybrid frame construction</i> $U = 0.3581 [W.m^{-2}.K^{-1}]$ (THERM, 2016)	34
Figura 23 - Localização Geográfica Alcoutim, Faro – Portugal (Google Earth)	37

Figura 24 - Local da construção em Alcoutim a 200 m de Sanlúcar com 30m de Altitude (Google Earth).....	37
Figura 25 - Características das Envolturas térmica no REH e DB-HE.....	40
Figura 26 - Corte Seção A-A' (m) / Composición en planta – Modelo utilizado na simulação computacional.....	41
Figura 27 - Plantas das secções / Planta y Sección – Modelo utilizado na simulação computacional.....	42
Figura 28 - Elevações / Alzado – Modelo utilizado na simulação computacional.....	43
Figura 29 – Infograma: exemplo da nomenclatura utilizada no BEM	45
Figura 30 - Visão 3D das plantas e espaços da edificação usada na simulação computacional (BIMVision, 2021)	46
Figura 31 - Parede exterior E-PD1-1 (Cypetherm REH 2021)	47
Figura 32 - Cobertura E-CO2-1 (Cypetherm REH 2021)	48
Figura 33 - Piso em contato com o solo S-PVE0-1 (Cypetherm REH 2021)	50
Figura 34 - Parede Enterrada S-PDE1-0 (Cypetherm REH 2021)	50
Figura 35 - Parede interior I-PD1-2 (Cypetherm REH 2021)	51
Figura 36 - Parede interior I-PD1-1 (Cypetherm REH 2021)	52
Figura 37 - Pavimentos entre pisos I-PV1-1 (Cypetherm REH).....	53
Figura 38 - Pavimento entre pisos I-PV2-1 (Cypetherm REH)	54
Figura 39 - Vão envidraçado - Portas de correr modelo Iglo Energy PSK (veneo.es).....	54
Figura 40 - Caixa de Estore (represtor.com)	55
Figura 41 - Representação esquemática do funcionamento da ventilação (Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS).....	57
Figura 42 - Coletor Solar Vulcano da Gama PremiumSun 200L FKT-2S (VULCANO, 2021)	60
Figura 43 - Sistema solar térmico com a combinação de Aquasmart 270-3E C e equipamento de apoio (VULCANO, 2021)	61
Figura 44 - Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior (15793-K/2013)	69
Figura 45 - Balanço de energia do edifício - Necessidades de aquecimento (GUIA SCE 3, 2020)	81
Figura 46 - <i>Flow chart of calculation procedure and links with other standards</i> EN ISO 13790	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Roteiro de transição para uma economia de baixo carbono até 2050 (Comissão Europeia)	2
Tabela 2 - Conforto térmico interno (IQE) (EN 15251).....	10
Tabela 3 - Concentrações recomendadas de CO ₂ , acima das concentrações externas, para os cálculos de demanda de energia (EN 15251)	12
Tabela 4 - Normalização do LOD-LOI (AIA, 2008).....	20
Tabela 5 - Espessuras e características térmicas das camadas dos materiais (EN ISO 6946)..	34
Tabela 6 - Descrição da localização da Obra	36
Tabela 7 - Área útil de pavimento - levantamento dimensional (IFC Builder, 2021)	39
Tabela 8 - Dimensionamento Construtivo (IFC Builder).....	44
Tabela 9 - Nomenclaturas de referência dos objetos/elementos construtivos BIM nos <i>softwares</i> BEM	44
Tabela 10 - Parede exterior E-PD1-1	47
Tabela 11 - Cobertura E-CO2-1	48
Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica superficial de elementos em contato com solo de Portugal e da Espanha.....	49
Tabela 13 - Piso em contato com o solo S-PVE0-1	49
Tabela 14 - Parede Enterrada S-PDE1-0	50
Tabela 15 - Parede interior I-PD1-2	51
Tabela 16 - Parede interior I-PD1-1	51
Tabela 17 - Pavimentos entre pisos I-PV1-1	52
Tabela 18 - Pavimento entre pisos I-PV2-1	53
Tabela 19 - Características Iglo Energy Classic PSK	55
Tabela 20 - Pontes térmicas lineares usadas no modelo em LSF	56
Tabela 21 - Enquadramento da ventilação do edifício	58
Tabela 22 - Permeabilidade ao ar da envolvente	58
Tabela 23 - Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado	58
Tabela 24 - Balanço de Energia - Edifício	58
Tabela 25 - Balanço de Energia - Edifício de Referência	59
Tabela 26 - Caudal mínimo de ventilação	59
Tabela 27 - Características da Bomba de Calor AquaSmart 270-3E C.....	60
Tabela 28 - Fornecimento de Energia Solar Térmica para AQS	60

Tabela 29 - Características Técnicas Coletor Solar Vulcano da Gama PremiumSun 200L FKT-2S (VULCANO, 2021).....	61
Tabela 30 - Multi-Split (ar-ar) – Aquecimento e Arrefecimento (Toshiba, 2021).....	62
Tabela 31 - Zoneamento Climáticas de Portugal e da Espanha	63
Tabela 32 - Proposta para zonas climáticas europeias simplificada, com base em graus-dia de aquecimento e graus-dia de arrefecimento, base 18°C(Laustsen, 2008).....	64
Tabela 33 - Valores CDD base 18°C e HDD base 18°C para Espanha e para Portugal (Garrigós, 2013).....	65
Tabela 34 - Zoneamento Climático no REH para Alcoutim e do DB-HE para Sanlúcar de Guadiana na Espanha.....	66
Tabela 35 - Cumprimento das exigências da envolvente térmica	67
Tabela 36 - Comparação - Inércia Térmica (REH) e compacidad (DB-HE)	68
Tabela 37 - Composição para Inércia térmica do modelo analisado	69
Tabela 38 - <i>Compacidad</i> da envolvente térmica	71
Tabela 39 - Coeficiente de redução de perdas (Cypetherm REH e HE Plus)	72
Tabela 40 - Coeficiente global de transmissão de calor (K) (Cypetherm e DB-HE1, 2021) ...	72
Tabela 41 - Descrição das características dos vãos envidraçados (D15793-K/2013 e DA DB-HE/1)	73
Tabela 42 - Requisitos para o vão envidraçado (Cypetherm REH e HE Plus)	74
Tabela 43 - Características dos sistemas técnicos (REH e DB-HE 2 / RITE - Parte II – IT 1.2)	75
Tabela 44 - Referência de Demanda de A.Q.S. REH e DB-HE para um T1 (SCE.ER versão 1.7.0 e <i>DB-HE Anejo F Demanda de referencia de ACS</i>).....	77
Tabela 45 - Característica do uso de energias solar renováveis (REH e DB-HE 4).....	77
Tabela 46 - Características do sistema solar térmico para Alcoutim – Faro – Portugal (SCE.ER)	77
Tabela 47 - Necessidades de energia útil REH e DB-HE.....	78
Tabela 48 - Uso de energia proveniente de recursos renováveis.....	78
Tabela 49 - Indicadores de necessidades de energia de cálculo e de referência REH	80
Tabela 50 - Classificação Energética em Portugal	82
Tabela 51 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos, $U_{ref} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$	83
Tabela 52 - Operadores de análise da demanda Energética (Cypetherm HE Plus).....	84

Tabela 53 - Classificação energética e índices para edifícios para uso residencial privado (IDEA 1, 2009).....	85
Tabela 54 - Tabela a-Anexo E. - Transmitância térmica do elemento, U [W / m ² K] (DB-HE)	86
Tabela 55 - Resumo comparativo entre os requisitos REH e DB-HE.....	89
Tabela 56 - Resumos das avaliações dos requisitos do DB-HE 2019	90
Tabela 57 - Resultados da simulação computacional - Demanda do edifício Objeto (Cypetherm HE Plus).....	91
Tabela 58 - Relação de Indicadores entre Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus	91
Tabela 59 - Necessidades nominais anuais globais de energia primária (Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus).....	92
Tabela 60 - Resumo da simulação para desempenho energético REH (Cypetherm REH).....	92
Tabela 61 - Resumo da simulação para desempenho energético DB-HE (Cypetherm HE Plus)	93
Tabela 62 - Resumo comparativo dos serviços de simulação de desempenho energético.....	93
Tabela 63 - Diferenças mais relevantes que encontramos entre o REH e o DB-HE.....	94
Tabela 64 - Fatores de conversão de kgCO ₂ /kWh E. Primaria de Portugal e da Espanha	95
Tabela 65 - Classificação Energética obtida para Portugal e para Espanha pela simulação (Cypetherm REH e HE Plus).....	97

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

°C - Graus Celcius

AQS - Água Quente Sanitária

BIM – *Building Information Model*

CAD – *Computer Aided Design*

COP - Coeficiente de performance (Coefficient of performance)

CTE - Código Técnico Documento Básico

DB-HE – Documento Base Ahorro de energía)

ISO - International Standard Organization

IteCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

ITE50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MPa - MegaPascal

OSB – Oriented Strand Board

QC - Quadro de colunas

QE - Quadro de entrada

QSC - Quadro de serviços comuns

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SEER - Rácio de eficiência energética sazonal (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

SER - Sem Riscos Especiais

1. CAPÍTULO - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os ritmos acelerados dos dias atuais se refletem na economia social mundial e em nosso bem-estar. Como os edifícios consomem, em média, quase 40% da energia e são responsáveis por cerca de 30% das emissões totais de GEE (Gases Efeito Estufa / GEI - *Gases de Efecto Invernadero*), a construção possui um grande impacto no meio-ambiente e em nossas vidas (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

Nota-se que com os avanços tecnológicos, nosso planeta apresenta uma grande necessidade de energia. Com o propósito de equilibrar a balança energética, a cada dia mais se introduz variadas fontes de energias renováveis, como por exemplo: parques eólicos, equipamentos solares, térmicos e fotovoltaicos, fontes de energia hidráulicas, etc. Da mesma forma, temos a introdução de novos materiais e metodologias de construções para ganhos em eficácia e desempenho energético (nZeb - *nearly zero-energy buildings*) na produção das edificações (ExcEED, 2020).

A Diretiva 2002/91/CE, inspirada no Protocolo de Quioto, exigiu que a União Europeia reduzisse as emissões de CO₂ de 8%, apresentada em 2010, para 5,2%, abaixo dos níveis de 1990. Para tornar realidade as exigências da Diretiva, outras medidas foram alavancadas: o Decreto-Lei nº 153/2014 que incentiva a produção de “Energia Elétrica para Autoconsumo”, a *Paris Climate Conference (COP21)*, de dezembro de 2015, a proposta de “Estratégia UE 2020”, do Conselho Europeu de Primavera, o projeto Horizon 2020, a E2BA (*Energy Efficient Buildings Association*), a agenda 2030 com os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável, entre muitos outros. Essas medidas abriram novas demandas econômicas para os serviços energéticos em edifícios e para o uso desta mesma energia em novas tecnologias, otimizando o processo denominado Construção 4.0 e *Building Energy Modeling* (BEM – “modelagem energética da edificação”), na redução de GEE até 2050.

O setor da construção é uma das credenciações para alcançar os objetivos energéticos e ambientais da UE (União Europeia), levando-se em conta que edifícios melhores e mais eficientes do ponto de vista energético, melhoram a qualidade de vida dos cidadãos, trazendo benefícios adicionais para a economia e para a sociedade.

No intuito de impulsionar o desempenho energético dos edifícios, a UE estabeleceu um quadro legislativo que inclui a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, 2010/31/UE (EPBD), e a Diretiva Eficiência Energética, 2012/27/UE. Juntas, as diretrizes buscam políticas para alcançar construções eficientes e descarbonizadas até 2050. Combinadas com as medidas de renovação reservadas à habitação social e com as novas regras que obrigam os países da UE a quantificar e monitorar o número de pessoas com dificuldades em pagar as suas contas de energia, essas regras de renovação de edifícios buscam ajudar a combater a pobreza energética na UE (OBSERVATÓRIO, 2021).

Os procedimentos para análise de certificação Energética de Portugal e da Espanha possuem, como todos os países membros da União Europeia, uma base comum de leis que visam o cumprimento dos tratados do Parlamento Europeu e o bem-estar da população.

Como outros compromissos assumidos a níveis comunitários e internacionais sobre uma economia de baixo carbono, a Diretiva 2009/28/CE descreve que para reduzir a emissão de GEE, cumprindo o acordo do Protocolo de Quioto sobre o Quadro das Nações Unidas de Alterações Climáticas, é necessário que o uso e o controle do consumo de energia na Europa devem estar associados a utilização crescente de energia proveniente de fontes renováveis, a poupança de energia e ao aumento da eficiência energética. Essas providências constituem partes importantes do pacote de medidas necessárias para promoção do desenvolvimento tecnológico e da inovação, na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional (EUROPEAN COMMISSION, 2016). Todas as leis estabelecidas pelo Parlamento Europeu, de obrigatoriedade nos países membros como Portugal e Espanha, seguem elementos comuns para a certificação energética dos edifícios, porém com escolhas de metodologias de cálculos e procedimentos peculiares a suas características culturais e geográficas.

Para as medidas até 2030, de acordo com a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho – versão alterada em conformidade com a proposta COM (2016) 761, relativa à Eficiência Energética – o objetivo foi redefinido para um limite máximo de consumo de energia primária equivalente a uma redução de 35% em relação ao ano 2005. Este limite tem por base a projeção do consumo de energia primária, excluindo os usos não energéticos, obtida através do Modelo PRIMES 2007 da Comissão Europeia (OBSERVATÓRIO, 2021).

Tabela 1 - Roteiro de transição para uma economia de baixo carbono até 2050 (Comissão Europeia)

Indicadores	Estratégia Europeia (%)	Quadro sobre clima e energia (%)	Roteiro para uma economia competitiva de baixo carbono (%)	
	2020	2030	2040	2050
Redução de emissões de GEE	20	40	60	80
Taxa de energia renovável	20	27	-	-
Melhora de eficiência energética	20	27	-	-

Com o objetivo de obter uma economia próspera, moderna, competitiva e neutra até 2050 (COM (2018) 773), a estratégia de longo prazo da União Europeia estabelece um roteiro de economia de baixo carbono, reduzindo os GEE em 80% para o setor de construção, em comparação com as emissões de 1990.

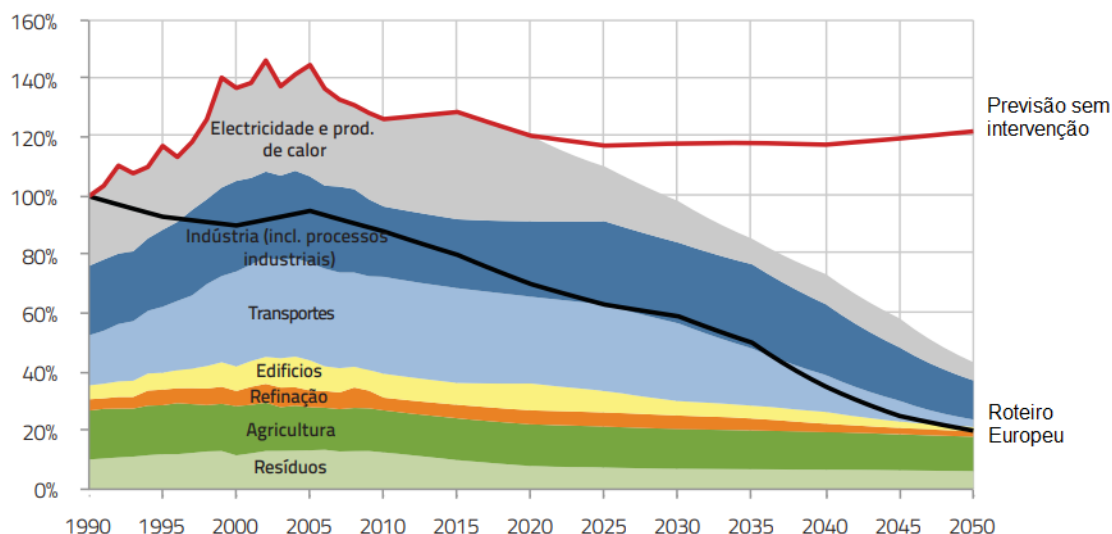


Figura 1 - Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 (APA, 2012)

Informação: Trajetórias setoriais de baixo carbono com restrição de emissões de 70% no sistema energético; cenário (1990=100%). Valores históricos de 1990 a 2010

Uma das apostas para maior eficiência e redução de gastos na construção é o desenvolvimento de projetos com a metodologia BIM associados a *Information and Communications Technology* (TIC), que se mostram como uma solução para gerenciar, compartilhar e atualizar (BIMSERVER, 2021), o modelo virtual tridimensional, de forma parametrizada, em um fluxo de trabalho colaborativo, aberto e coordenado entre todos os técnicos que integram a equipe de trabalho, durante o ciclo de vida da edificação, fazendo interoperabilidade entre os diversos *softwares* (*Common Data Environment* - CDE). O BimServer.center é um projeto beneficiado pelo financiamento do Programa-Quadro de Investigação e Inovação Horizonte 2020 da UE.

Quando associamos o BIM, com as metodologias racionais das edificações, como a construção estrutural no sistema *Light Steel Framing* (LSF – Aço conformado a frio), que está frequentemente associada a Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*), execução rápida, eficiência térmica e acústica (entre outros fatores), resulta em uma construção mais industrializada, que nos permite reduzir de forma significativa e econômica as emissões dos gases do efeito estufa e otimizar os ganhos financeiros, obtendo eficácia ambiental e energética em seu processo de produção, amparados por organizações como *Research Fund for Coal and Steel* (RFCS) (STEELANDCOAL, 2019), *ConSteel Solutions Kft*, e *Dlubal Software EN* na União Europeia, entre outras no mundo.

Levando em consideração que um dos desafios da Engenharia Civil na certificação energética das edificações é a padronização das informações na indústria da construção e seu procedimento para os diversos climas existentes, este projeto procura mostrar uma linguagem que possa servir de base para um futuro entendimento compatível com as várias aplicações do BIM, na Construção 4.0 e na Eficiência Energética das Edificações de Portugal e da Espanha. Um exemplo dessas aplicações, é o projecto *European Skills4Cities*, coordenado pelo *Cluster Sofia Knowledge City* (CSKC), que trabalha na definição e certificação das competências necessárias

para que empresas, profissionais governamentais e profissionais externos se formem na gestão de cidades inteligentes (ESMARTCITY, 2021).

Assim, norteados pelos elementos comuns do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) de Portugal e o *documento Base de Ahorro de energia* (DB-HE) da Espanha, na direção da redução das emissões de CO₂ e do desempenho energético das edificações, buscamos a padronização do processo construtivo no Cypetherm, de modo a explorar as vantagens da utilização do BIM em uma construção enxuta com aço conformado a frio, para uma edificação de baixa emissão dos GEE transfronteiriça.

1.2. Objetivos

Norteadas por programas como o Interreg VA Espanha-Portugal (POCTEP - poctep.eu), que promovem projetos de cooperação transfronteiriça com o apoio da União Europeia, os objetivos dessa dissertação são:

- Buscar laços no uso da eficiência energética entre a metodologia BIM associado ao LSF em edificações unifamiliares de Portugal e com a Espanha.
- Disponibilizar a base para projetos de edificações unifamiliares no sistema LSF, que cumpram o regulamento português e espanhol de eficiência energética, bem como comparar alguns fatores dos regulamentos, gerando um modelo 3D parametrizado na metodologia BIM.
- Estabelecer o prelúdio de um modelo básico para um projeto em eficiência energética das edificações, com o uso da metodologia BIM associado ao LSF, com os procedimentos de certificação energética dos edifícios em Portugal e na Espanha.

1.3. Metodología

Nossa metodologia de trabalho considerou pesquisas em artigos científicos, livros, regulamentos e leis governamentais, sobre a tecnologia LSF, a metodologia BIM e eficiência energética, no contexto da aplicação na Europa, com a execução da simulação computacional para mensurar resultados.

A análise dos resultados do modelo virtual foi executada paulatinamente, com a inclusão dos elementos essenciais de uma edificação (geometria, materiais, zonas climáticas, etc.) e verificação dos resultados entre os *softwares* Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus, com as informações regulamentares. Posteriormente obtivemos um elemento de comparação com as entradas de dados, *inputs* equitativos e resultados mensuráveis dos regulamentos. Levamos em conta que qualquer *software* sempre irá gerar resultados independente do *input* fornecido inicialmente, pois o algoritmo será processado com os parâmetros introduzidos pelo o usuário, fazendo com que o programa execute rotinas de cálculos e verificações pré-estabelecidas e gerando os respectivos *outputs*. Os resultados somente terão validade para o correto dimensionamento na engenharia, se os *inputs* estiverem certos. Por esse motivo, uma das preocupações do nosso estudo está direcionada para a validação dos resultados gerados pelos *softwares*, decorrentes dos diferentes *inputs* existentes na parametrização dos elementos BIM, em relação aos regulamentos REH e DB-HE.

1.4. Organização do Trabalho

Apresentamos a seguir a estruturação lógica da elaboração do nosso estudo, tendo como fase inicial o *plano de trabalho* que evidencia os pontos de controle para definição das fases posteriores a serem executadas, resultando assim:

Fase 1: Estado da Arte nas questões de Eficiência Energética, nos regulamentos REH e DB-HE, da construção em LSF e da metodologia BIM.

Fase 2: Exame dos processos *OpenBIM*, utilizando os *softwares* afins, atribuindo informações parametrizadas ao modelo digital e do comportamento térmico na análise climática com as condicionais regulamentares, ao nível das necessidades energéticas de demanda e consumo.

Fase 3: Simulações do mesmo edifício, mas alterando as condições de elementos construtivos e climático, conjuntos e dimensões dos constituintes dos painéis e suas camadas, distâncias entre as paredes e a divisão no processo construtivo do sistema LSF, com o reforço de isolamento térmicos, entre outros, para cumprir as normativas dos dois países, nos vários elementos da edificação.

Fase 4: Comparação entre os resultados encontrados com tabelas comparativas e gráficos, correlacionando os resultados com as normatizações e sua eficácia energética.

2. CAPÍTULO – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1 Mensurando a eficiência energética dos edifícios

A exigência de conforto e a necessidade de reduzir e racionalizar o uso de energia – por razões de escassez de recursos ambientais e gastos financeiros –, conferem a eficiência energética dos edifícios grande importância nas atividades econômicas e sustentáveis, no tratamento dos fenômenos de transferência e balanço termo higrométrico (Moret *et al.*, 2009).

Para definirmos energia, temos em física que: “*energia é a propriedade quantitativa que deve ser transferida a um objeto para realizar trabalho ou para aquecer o objeto*” (ETYMON, 2020). A lei da conservação de energia – Lei de Lavoisier, criada no final do século XVIII pelo cientista francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) – afirma que a energia pode ser convertida em outra forma, mas não criada ou destruída.

O watt (símbolo: W) é uma unidade de potência ou fluxo radiante do Sistema Internacional de Unidades (SI - *International System*), sendo definido como uma unidade equivalentemente a $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ou 1 joule ($\text{N} \cdot \text{m/s}$). É usado para quantificar a taxa de transferência de energia (ISO 80000-1, 2009).

Mas para definirmos eficiência, precisaremos descrevê-la como um processo, podendo usar como indicador, entre os que existem, os EnPIs (*Energy Performance Indicators*), que são indicadores que nos permitem medir o desempenho energético.

Alguns exemplos de indicadores de desempenho energéticos são (50001STORE, 2020):

- Dados de consumo mensal de energia (de preferência separadamente por tipo de energia, por exemplo: eletricidade, gás natural...);
- Variáveis que afetem o consumo de energia em uma instalação (por exemplo, graus-dias de aquecimento (HDD - *heating degree day*), graus-dias de resfriamento (CDD - *cooling degree day*), temperatura do ponto de orvalho, rendimento do produto, teor de umidade do produto, ajustes de programação de turnos, etc.).

Outro indicador para a industrialização é o de performance OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que é o indicador utilizado para averiguação de eficiência nas indústrias manufatureiras para gerenciar a produção, buscando maior produtividade com o mínimo de recursos possíveis. Assim, a produtividade e a eficiência andam juntas: quanto mais produtivo um processo, mais eficiente ele será (Konopka e Trybula, 1996).

Unindo a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com os novos materiais de construção, temos um ganho de eficiência operativa e, conseqüentemente, energética, na direção da industrialização da construção civil, a denominada Construção 4.0.

Os Indicadores de Eficiência Energética (IEE) das edificações são usados para analisar as interações entre as atividades econômicas e humana no consumo de energia e das emissões de dióxido de carbono (CO_2), na caracterização do desempenho energético dos edifícios e seus respectivos limites máximos de CO_2 , no caso de edifícios novos e no caso de grandes intervenções em edifícios existentes, avaliando a relação da ação provocada na natureza pelo consumo energético do ser humano (Decreto-Lei n.º 118/2013).

Os índices usados nos equipamentos são: EER (*Energy Efficiency Ratio*) e SEER (*factor de eficiencia energética estacional - Seasonal Energy Efficiency Ratio*), que se referem à eficiência do equipamento na produção de frio, ou seja, arrefecimento; e os parâmetros COP (*Coefficient Of Performance*) e SCOP (*coeficiente de rendimiento estacional - Seasonal Coefficient Of Performance*) para a eficiência energética dos equipamentos de produção de calor, ou seja, aquecimento (ACTITUDECOLOGICA, 2020). Quanto mais altos forem os valores apresentados por esses índices, melhor será a eficiência do equipamento e, geralmente, o seu preço será mais alto também.

Os Indicadores são usados no projeto da construção, na avaliação *in situ* da qualidade interior do ambiente (*indoor environment quality - IEQ*, também chamada de "ergonomia da construção" ou "ecologia da construção") e durante a operação dos edifícios (Medved et al, 2019).

A eficiência energética procura proteger o meio ambiente reduzindo a intensidade de energia, objetivando consumir o que for necessário e nada mais. O Protocolo de Quioto - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) de 11 de dezembro de 1997, define metas obrigatórias para reduzir o aquecimento global, diminuindo as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera à "um nível que evitaria interferência antropogênica perigosa com o sistema climático" (Artigo 2, do UNFCCC).

Alan Meier *et al.* (2002) afirmam que as emissões de CO₂ que demandamos para a atmosfera estão aumentando e, por isso, a eficiência energética tornou-se uma forma de cuidar do planeta, já que não é só o uso inteligente do eletrodoméstico ou do ambiente que “consumimos / vivemos”, mas significa quem somos, nosso meio social e bem-estar. Assim, um serviço ou produto energeticamente eficiente precisa estar comprometido com o meio ambiente, no sentido de se preocupar em utilizar menos energia para fazer o mesmo trabalho e buscar abastecer-se e funcionar com o máximo de energia renovável possível (Edifícios Hoteleiros, 2018).

2.2 Edifícios energeticamente eficientes

A eficiência energética de um edifício é determinada pelo cálculo ou medição do consumo de energia necessário para atender a demanda anual do edifício em condições normais de operação e ocupação. Consideramos um edifício eficiente, do ponto de vista energético, aquele que minimiza a utilização de energias não renováveis, de forma a poupá-las e utilizá-las de forma racional (Alan Meier *et al.*, 2002).

Konopka e Trybula (1996) orientam que na medida em que o consumo de energia, do produto ou do serviço diminui e continua com o mesmo OEE, a eficiência energética aumenta e o uso racional das tecnologias com atitudes sustentáveis possibilita o menor consumo de energia, melhorando a competitividade das empresas e a qualidade de vida.

Para Delarue *et al.* (2007) os edifícios combinam grandes áreas tecnológicas, que definem a direção do desenvolvimento social e econômico nas próximas décadas: entre elas, a TIC e a gestão de eficiente da energia, que se mesclam na gestão de instalações (*Facility management*). Temos então os “edifícios inteligentes”, “edifícios sustentáveis”, “*ecobuildings*”, “*building automation*”, “*smart buildings*”, entre outras nomeações, que têm como objetivo transformar

os ambientes urbanos em espaços mais sustentáveis, de forma eficiente, a fim de equilibrar a balança energética e/ou a qualidade de vida, enfrentando as mudanças climáticas. Segundo os mesmos autores, o conceito inicia-se no “*big data*”, dando origem aos edifícios inteligentes e as cidades conectadas, onde as TICs permitem sofisticados sistemas de coleta de dados, análise e gestão informatizada em um processo de modelagem de informações da construção (BIM - *Building information modeling*). Temos algumas de suas mensurações descritas na UNE-EN 15251:2008 - *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*.

De acordo com a *United Nations Environment Programme*, UNEP – Conferência de Estocolmo em junho de 1972 – uma construção mais inteligente nos permitiria reduzir de forma significativa e econômica as emissões GEE, podendo concluir que os edifícios desempenham um papel fundamental na redução de gases de efeito estufa.

Mas o que é um edifício inteligente? O que é um edifício eficiente? Como definir os parâmetros para as verificações de eficiência energética das edificações?

Para obter estas respostas, foram desenvolvidos vários estudos com metodologias diferentes em todo o mundo, com a finalidade de levar o bem-estar para o planeta e para população.

Nossos estudos foram direcionados no âmbito da comparação por simulação computacional, dos regulamentos sobre eficiência energética das edificações de Portugal e da Espanha, de uma construção nova e unifamiliar. Porém ressaltamos que o BIM e o sistema LSF poderão ser úteis para futuras análises de reabilitação e redução da pobreza energética, nos objetivos da estratégia “*Renovation Wave*” (COM (2020)662, (EU) 2020/1563 e C (2020) 6929-6930), que visam a melhoria da qualidade de vida das pessoas que utilizam os edifícios, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa na Europa, promovendo a digitalização e melhorando a reutilização e reciclagem de materiais.

Para o período de 2021-2030, cada país da UE deve elaborar um plano nacional integrado de energia e clima (NECP - *National Energy & Climate Plan*) de 10 anos, definindo como pretende cumprir as diferentes metas para 2030, incluindo a eficiência energética (EU 2030, 2021). O benefício estimado para 2030 é de 35 milhões de edifícios a serem reabilitados e até 160.000 empregos verdes serem criados no setor de construção. (ESEficiência, 2021).

2.3 Eficiência energética passiva e ativa nas edificações

De uma forma simplificada podemos descrever a eficiência energética ativa das edificações, como o controle alcançado através do uso de medições, monitoramento e inspeção da energia em uma edificação; e a eficiência energética passiva das edificações, como sendo a instalação de contramedidas para evitar perdas térmicas, hídricas e de qualidade do ar (Moret *et al.*, 2009).

Existe a possibilidade de incorporar a eficiência energética ativa durante o projeto de desenvolvimento da edificação, durante a construção, ou mesmo quando o prédio já está ocupado. Para a eficiência energética passiva, arquitetos e engenheiros precisam necessariamente de considerar a possibilidade da conservação de energia nos materiais de isolamento que serão adotados na edificação e na forma de concepção da edificação,

aproveitando os ganhos solares, a geografia do local da construção e a geometria da mesma. O uso do sistema *Light Steel Framing (LSF)* com camadas isolantes, apresentam fatores que contribuem para a redução de resíduos no setor da construção, para a eficácia dos materiais e para a eficiência energética da edificação (EEE), além de agilidade e pouco desperdício por causa do seu processo industrializado (Soares *et al*, 2017), ganhos no uso da eficiência energética passiva, e redução dos gastos com energia no decorrer do ciclo de vida da edificação. Por ser um material *standard*, *ISO 10799-2:2011- Cold-formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels — Part 2: Dimensions and sectional properties*, Eurocode 3: *Design of steel structures*, a *Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting* e a *Part 1-5: Plated Structural Elements*. Se torna um material igual em todas as características físicas, para ambos os países. Entre os motivos, esse também nos levou a usarmos o LSF no modelo apresentado nessa dissertação.

No âmbito da eficiência energética ativa, equaliza-se o uso de sistemas de *softwares* com equipamentos para o conforto e para o bem-estar, utilizando-se bombas de calor, sistemas de AQS (Águas Quentes Sanitárias), sistemas de aquecimento e arrefecimento, sistemas de ventilação forçada, entre outros, com o uso de projetos digitais, interligando sensores em IoT (*Internet of things* - Internet das Coisas), com programas de gestão - *Facility management*.

Uma edificação com ótima eficiência energética é o resultado da aplicação de um conceito de construção que visa obter o mais alto nível de bem-estar, com o maior nível de eficiência. Esse princípio começou a ser catalogado no final da década de 1980, na Alemanha, com o *Passivhaus Institut*, iniciando a regulamentação para as normas de certificação dos edifícios. Hoje, o nome *Passivhaus* é um selo de qualidade, quando se trata de casas com eficiência energética em edificações (PASSIVEHOUSE, 2020).

O princípio do nZeb (*nearly Zero Energy Building*) postula que a quantidade total de energia usada pelo edifício anualmente será igual, ou quase igual, à quantidade de energia renovável criada para a edificação (Directiva 2009/28/CE).

Depois de conhecer o grau de eficiência passiva que a edificação possui, são pensadas as soluções complementares para a eficiência energética ativa e as soluções de energia renováveis que podemos implementar para melhorar a eficiência energética da edificação e aumentar a poupança energética - *Ecological footprint (Huella ecológica – Pegada ecológica)* (FOOTPRINT, 2021).

2.4 Bem-estar e a eficiência energética

A palavra bem-estar se define como: substantivo masculino - 1. estado de satisfação plena das exigências do corpo e/ou do espírito. 2. sensação de segurança, conforto, tranquilidade (OXFORD, 2021).

A eficiência energética das edificações, além da economia de energia para redução do GEE nos aspectos da sustentabilidade, busca também o bem-estar do ser humano através do conforto e da melhoria de qualidade de vida. Consiste em reduzir para limites aceitáveis dentro do edifício e das condições normais de uso, o risco de os usuários sofrerem desconforto ou doenças (DB-HE). Quando o conforto térmico, a qualidade do ar interior, a iluminação e o conforto acústico

são discutidos e incorporados nos requisitos da edificação, temos *designers* eficientes dos edifícios, garantindo o IEQ com o menor uso possível de energia (Medved et al, 2019).

2.4.1. Conforto térmico interior

O nosso corpo precisa de energia em forma de alimento para manter sua temperatura interna com um valor constante de aproximadamente 37°C, fazendo o trabalho mecânico necessário. Esse trabalho não pode ser realizado sem transferência de calor do corpo para o ambiente, usando mecanismos de radiação, condução ou convecção para realizar essa transferência (Medved et al, 2019). Deve-se levar em conta que poderá haver variação com o tipo de movimento do corpo, o local, a roupa (unidade em "clo" = $0.155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ - EN ISO 8996) que usamos, entre outros elementos do ambiente.

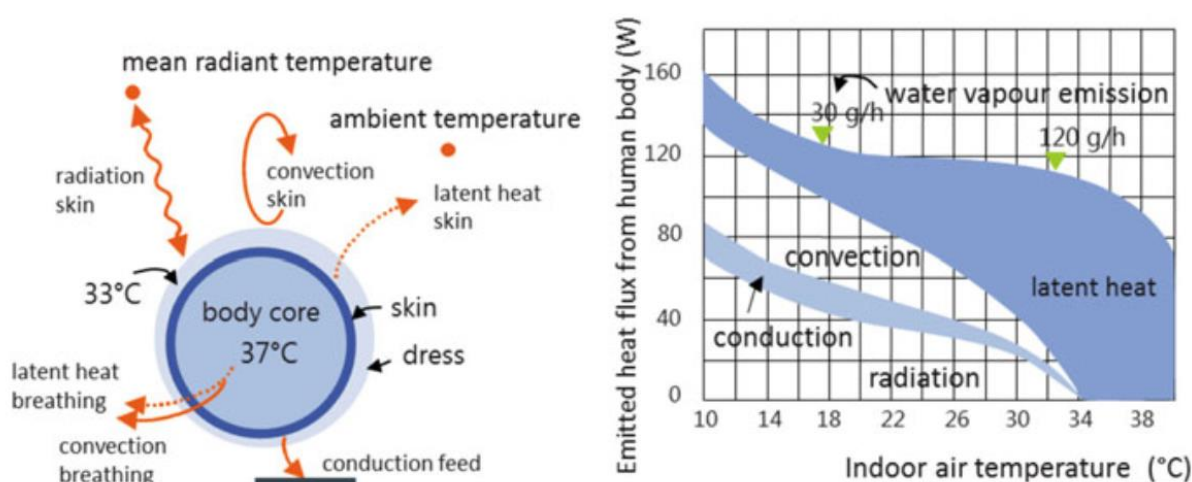


Figura 2 - Fatores para temperatura de conforto interior (*Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings*, 2019)

A gama de valores dos parâmetros de conforto *indoor* globais, podem ser definidas de acordo com o standard EN 15251 - *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*.

Tabela 2 - Conforto térmico interno (IQE) (EN 15251)

Balanço térmico do corpo Humano	
Condições Físicas	Condições Intermediárias
Temperatura do Ar	Metabolismo
Temperatura Radiante	Roupa utilizada
Velocidade do Ar	
umidade do Ar	

Conforme Moret *et al.* (2009) para análise do conforto térmico-higrométrico, usa-se a temperatura de bulbo seco, a pressão de saturação do vapor de água, a pressão parcial do valor

de água, a umidade relativa, o ponto de orvalho, as cartas psicrométricas, para obter os valores usados para medir a Temperatura Efetiva (ET – *effective temperature*). Os critérios para umidificação e desumidificação do ar no interior em edifícios são encontrados na EN 15251, e na CEN/TR 16798-2 - *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements*, e na EN 16798-1 - *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, que definem a faixa de temperatura operatória interna aceitável de acordo com a temperatura média externa de funcionamento.

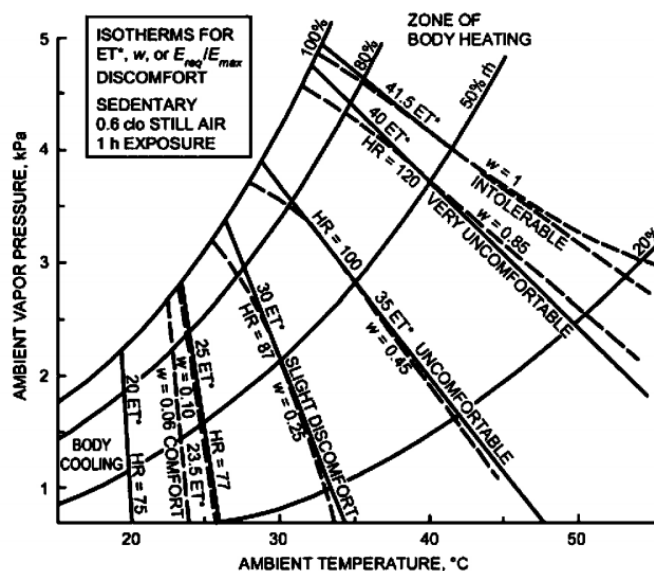


Figura 3 - *Effect of Thermal Environment on Discomfort* (ASHRAE Handbook, 2013)

A definição de ET evoluiu na ASHRAE 55 para “a temperatura operativa de um ambiente fictícia com umidade relativa de 50% que produz no indivíduo as mesmas trocas de calor sensível e latente que no ambiente real”. Um conjunto padrão de condições foi desenvolvido para representar o ambiente interno, designado por Gagge, Nishi & Gonzalez (1972) como Temperatura Efetiva Padrão (SET - *Standard effective temperature*). No entanto, a teoria do Professor Fanger (1982) e da EN ISO 7730 - *Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local*, tem encontrado larga audiência internacional (Moret *et al.*, 2009).

2.4.2. Qualidade interior do Ar

Para a Qualidade Interior do Ar (IAQ - *Indoor Air Quality*), são considerados caudais de ventilação mínimos para renovação do ar, ou trocas de ar por hora (ACH - *air exchanges per hour* (h^{-1})) - determinados pelo *standard* CEN/TR 16789-2, para a prevenção de risco de condensações e para o conforto térmico. As Diretivas n° 1999/30/CE e n° 200/69/CE fixam as orientações para concentração limite de poluentes da União Europeia (Moret *et al.*, 2009).

A estratégia de controle da qualidade de ar nos edifícios assenta-se em 3 métodos: 1) Controle a fonte; 2) Controle por remoção; e 3) controle por diluição (Moret *et al.*, 2009).

Em Portugal, os caudais-tipo estão definidos na NP 1037-1 [33] – tabela 1.16 que conforme a RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - Decreto-lei nº40/90), estabelece a taxa mínima de renovação de 0,5 RPH para as infiltrações e um caudal de ar novo de 35 m³/h por ocupante para a ventilação mecânica ou natural.

Em Espanha, temos o *Documento Básico de salubridad DB-HS 3- “Calidad del aire interior”*, que estabelece que o caudal de ar externo precisa garantir uma concentração média anual de CO₂, de cada local, inferior a 900 ppm (*partes por millón*), e quando a concentração acumulada de CO₂ anual exceder 1.600 ppm, que seja menor que 500.000 ppm.h.

Devido à má qualidade do ar interior dois fenômenos surgem (Medved et al, 2019):

- Síndrome do edifício doente (SBS - *sick building syndrome*);
- Doença relacionada à construção (BRI - *building-related illness*).

Esses fenômenos geram problemas de saúde nos habitantes, podendo advir doenças cardiovasculares e câncer (Medved et al, 2019).

A ventilação é uma técnica para a diluição dos poluentes existente no ar interior, através da troca de ar com o exterior. Para controlar os sistemas de ventilação mecânica e para fins de avaliação da demanda de energia, a norma EN 15251 recomenda que a taxa máxima de ventilação seja projetada para corresponder à concentração máxima de CO₂ interna, acima da concentração por categoria de IAQ.

Tabela 3 - Concentrações recomendadas de CO₂, acima das concentrações externas, para os cálculos de demanda de energia (EN 15251)

Categoria de IAQ	Concentração de CO ₂ acima dos valores externos (ppm)
I	350
II	500
III	800
IV	>800

2.4.3. Conforto Visual

Todos os edifícios devem ter instalações de iluminação adequadas às necessidades de seus usuários e, ao mesmo tempo, deverão ser energeticamente eficientes (IDEA, 2011). As pessoas recebem mais de 80% das informações de seu ambiente pela visão. O olho humano percebe radiação eletromagnética com comprimentos de onda no intervalo entre 380 nm (luz violeta) e 760 nm (luz vermelha). Do ponto de vista da engenharia, o conforto visual estará garantido se uma pessoa puder executar tarefas de forma eficiente, tanto por iluminação natural (dia), ou iluminação artificial (elétrica), ou uma combinação de ambas (Medved et al, 2019).

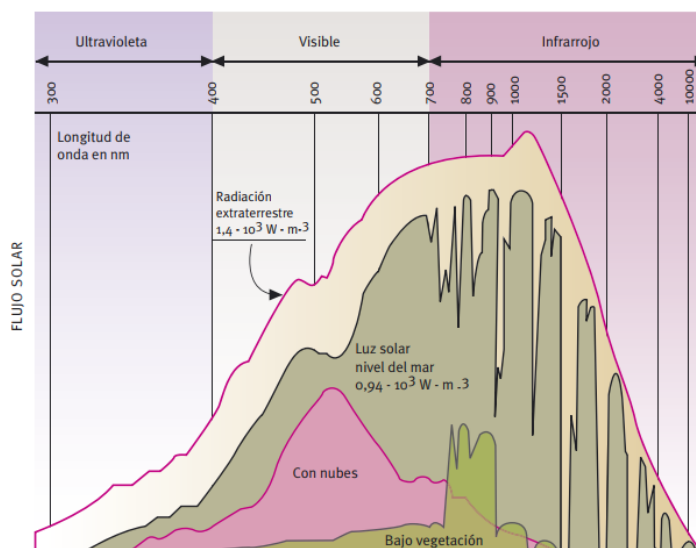


Figura 4 - Distribuição da radiação solar na atmosfera alta e no nível do mar, em diferentes circunstâncias (Iluminación de Edificios, 2005)

Quase toda a radiação ultravioleta e uma grande parte da luz infravermelha são absorvidas pela atmosfera. A energia que atinge o nível do mar é geralmente radiação infravermelha (49%), luz visível (42%) e radiação ultravioleta (9%). Em um dia nublado, uma porcentagem muito maior de energia é absorvida, especialmente na área da luz infravermelha (Iluminación de Edificios, 2005).

O RSECE e SCE, assim como a *sección HE-3* do *Documento Básico*, impõem restrições e metas para a análise luminotécnica de eficiência energética das edificações. As grandezas: fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminação (iluminância) e luminância, estabelecem como requisito básico para os edifícios, tanto os novos como os que serão renovados, as instalações de iluminação adequadas às necessidades dos seus utilizadores e, ao mesmo tempo, exigem que sejam eficientes do ponto de vista energético. Para tal, a eficiência energética do sistema de iluminação não deve ultrapassar os valores limites e deve possuir também um sistema de comando que permita se ajustar para real ocupação da área, bem como um sistema com regulador, que otimize a utilização da luz natural (RSECE, 2006). Não se pode esquecer que a fonte de luz também emite calor.

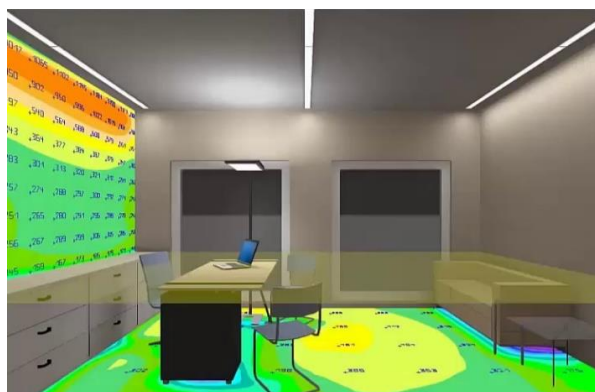


Figura 5 - Exemplo de análise luminotécnica com o software Dialux Evo (DIAL, 2021)

As cartas solares estereográficas nos permitem determinar o quanto da luz do sol (luz natural) transpassa, através de uma janela. Representando a trajetória solar ao longo do ano para uma determinada latitude, o que nos permite descobrir quando a incidência solar ocorrerá através da abertura (*Iluminación de Edificios*, 2005). As cartas solares estereográficas somente são validas para a latitude correspondente, para o uso da análise luminotécnica da edificação.

Como normativa europeia temos a UNE-EN 12464-1:2012 - *Light and lighting - Lighting of work places*, que será anulada pela PNE-prEN 12464-1. Para Portugal temos a Portaria n.º 349-D/2013, que aborda a instalação de iluminação e define os requisitos; para a Espanha temos o Real Decreto 1890/2008, que aprova o *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07*.

Em nosso projeto não foram feitos estudos luminotécnicos por se tratar de uma moradia residencial, não havendo exigência regulamentadora para moradias unifamiliares, tanto em Portugal, quanto para a Espanha.

2.4.4. Conforto Acústico

O som se propaga através do meio como ondas mecânicas, causando a formação periódica de áreas, com alta e baixa pressão relativa, a uma pressão atmosférica de referência (10^5 PA). O nível de pressão sonora tem uma escala logarítmica e é medido em decibéis (dB) (FAUUSP, 2018). Em geral, os humanos podem ouvir sons com frequências entre 20 Hz a 20.000 Hz, mas a nossa audição foi adaptada para ouvir melhor as frequências que são típicas da fala: no intervalo entre 200 Hz e 5500 Hz. Podemos ouvir a fala se a pressão sonora estiver entre o nível entre 30 dB e 75 dB (Medved et al, 2019).

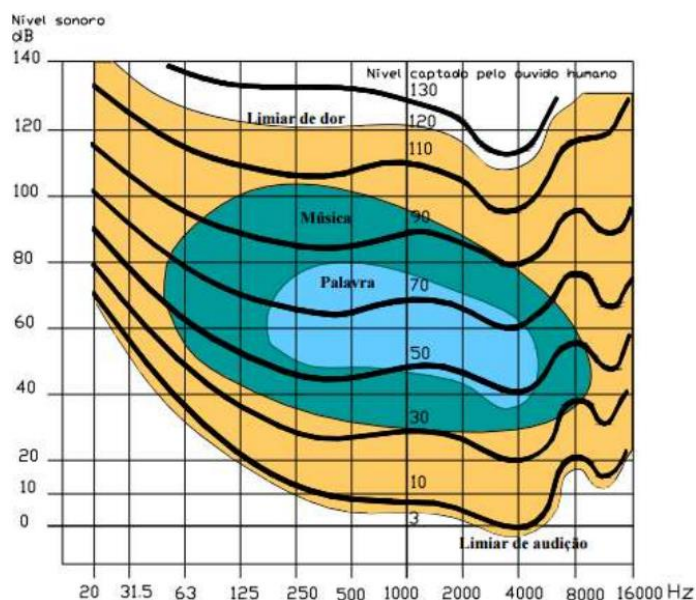


Figura 6 - Curvas de igual sensação sonora (Isofônicas)/Superfície de audição (FAUUSP, 2018)

Podendo ser utilizada na Europa a norma ISO 16283-1:2014/Amd 1:2017 *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation - Amendment 1, Part 2: Impact sound insulation e Part 3: Façade sound insulation*. Portugal utiliza a norma NP ISO 1996 - Acústica; Descrição, medição e avaliação do ruído

ambiente; Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação. Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora e NP 4361– Acústica. Atenuação do som na sua propagação ao ar livre. Parte 2: Método geral de cálculo. Na Espanha emprega-se o *Documento Básico HR - Protección frente al ruido*.

Para satisfazer os objetivos normativos, os edifícios são projetados, construídos e mantidos de forma que os elementos de construção que compõem seus preceitos tenham características acústicas adequadas para reduzir a transmissão do ruído do ar, o ruído de impacto e vibrações de suas próprias instalações, das edificações adjacentes e limitar o ruído reverberado do próprio recinto.

Os procedimentos de análise devem conter ensaios acústicos para caracterização do ruído ambiente e do ruído residual e os valores limite de exposição com os descritivos da Guia de Ruído Ambiente (2011): 1) Funcionamento da fonte; 2) Condições meteorológicas; 3) Procedimento de medição; a) Local de medição/localização do microfone; b) Intervalos de tempo de medição; c) Medições; 4) Resultados; 5) Tratamento de resultados; 6) Conclusões.

O conceito de solução de isolamento é o conjunto de todos os elementos construtivos que compõem uma edificação e influenciam na transmissão de ruído e vibrações entre os ambientes adjacentes ou entre o exterior e o recinto (DB-HR). No projeto apresentado junto a esta dissertação, não realizamos estudos acústicos, por não ser exigência normativa para habitações familiares, em ambos os regulamentos.

2.4.5. Exposição ao radônio

Os radionuclídeos naturais terrestres e cosmogênicos, migram do meio ambiente por diferentes vias: ar, água, rocha, solo e cadeia alimentar. Os radionuclídeos podem entrar no corpo humano através da ingestão (alimentos e água potável) e inalação, causando a chamada exposição interna. A exposição externa é devida à radiação cósmica e à radiação de radionuclídeos terrestres presentes no solo, rochas e materiais de construção (Radioactivity, 2021).

Estudos epidemiológicos têm fornecido fortes evidências da associação entre radônio em ambientes internos e câncer de pulmão. Depois do fumo, o radônio é o segundo maior causador de câncer de pulmão na população, mesmo nas concentrações relativamente baixas de radônio, usualmente encontradas em imóveis residenciais (Zeeb e Shannoun, 2016).

Em 2005, a WHO (*World Health Organization*) estabeleceu o Projeto Internacional de Radônio em mais de 30 países para identificar estratégias eficazes para a redução do impacto do radônio à saúde e para aumentar a consciência mundial sobre as consequências da exposição prolongada ao radônio.

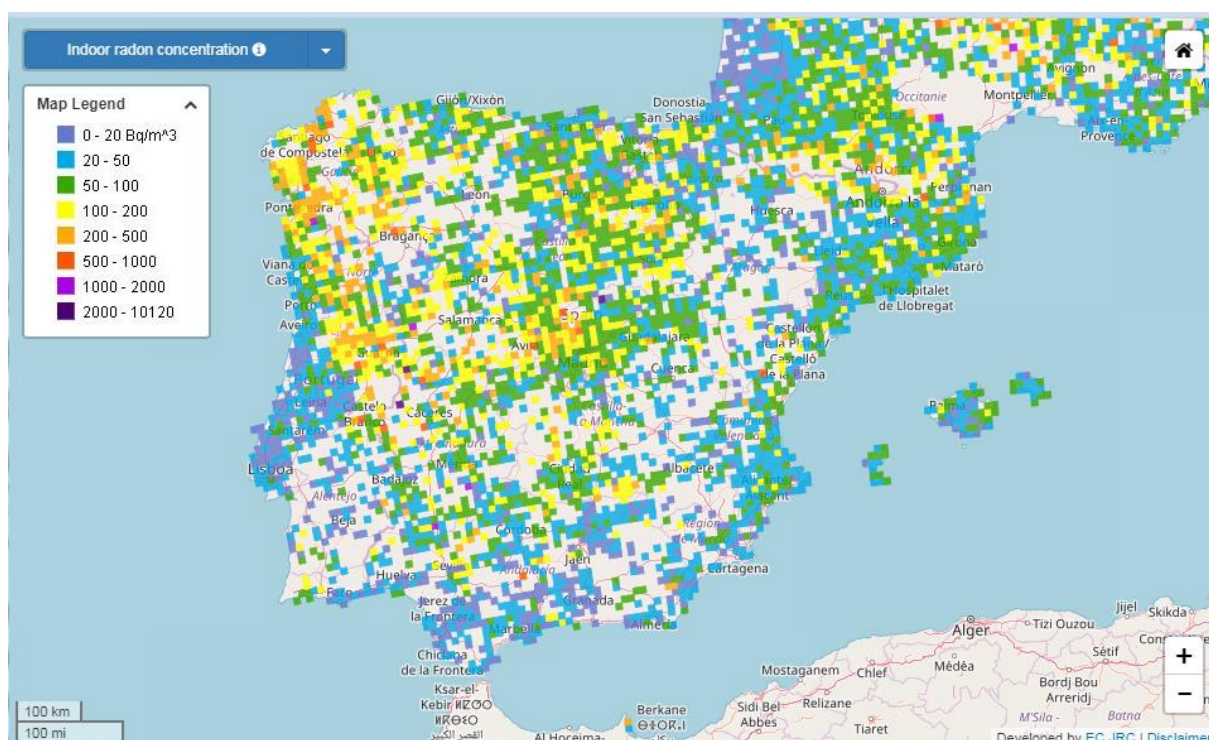


Figura 7 - Indoor radon concentration Portugal e Espanha 2021 (REMON, 2021)

O Documento Básico Salubridad, ítem HS 6 *Protección frente a la exposición al radón*, considera requisito obrigatório para novos edifícios de construção e intervenções em edifícios existentes. O Documento tem por finalidade limitar o risco de exposição do usuário a concentrações inadequadas do radônio do solo dentro das instalações habitáveis, em um nível de referência estabelecido para a concentração média anual de radônio dentro deles de 300 Bq/m³ (DB-HS, 2019).

O DB-HS define soluções como: Barreira de proteção, ventilação natural ou mecânica para espaço de contenção ventilado, despressurização, manutenção e conservação do terreno, com características específicas para cada zona da Espanha, descrita no Anexo B do respectivo documento.

2.5 Estratégica *nearly zero-energy buildings* (nZeb) na União Europeia

Os requisitos de desempenho devem estar em conformidade com a metodologia definida pela União Europeia através do Regulamento Delegado (EU) 244/2012 - *supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements*, de 16 de janeiro de 2012, que contém regras impostas para as características nZeb adotadas pelos estados membros.

No documento: Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios (ELPRE) existe a preocupação de promover a renovação do parque habitacional e as necessidades energéticas de desempenho dos edifícios. É importante ressaltar que a diretiva de desempenho energético dos edifícios (*Energy Performance Buildings Directive – EPBD - Diretiva EU 2018/844*), altera a Diretiva 2010/31/EU relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE

sobre a eficiência energética, consta que todos os novos edifícios sejam de desempenho energético quase nulo - artigo 9º da EPBD.

2.6 *Smart buildings* na eficiência energética

O termo *smart buildings* (“edifícios inteligentes”) tem um sentido mais amplo do que somente automação, controle econômico da energia, avanços da análise de dados, desenvolvimento, expansão e modernização da tecnologia (Domótica). É a utilização de sensores e processamentos de dados com IoT, com *Building Management Systems* (BMS) e *Facilities Management* nos processos para desempenho das edificações (Kemal Akkaya, 2015).

Existe uma busca por um modelo-base que possibilite a criação de um “edifício inteligente”, mesclando eficácia e sustentabilidade, que possa ser digitalizado, com o benefício da otimização de dados na nuvem (*on-line*), de forma corporativa e cooperativa. Utilizando-se a metodologia BIM 6D (Sexta Dimensão), pretende-se obter algoritmos inteligíveis através de sistemas (*Building performance simulation* - BPS) existentes nos setores da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), com meios governamentais e para o cliente final, passando por setores políticos, sociais e econômicos, na geração de sustentabilidade e redução dos GEE.

Dessa forma, pesquisamos metodologias que visam a melhoria da eficiência energética nas cidades para o bem-estar do planeta e da população. Essa pesquisa fundamenta-se seguindo metodologias que serão descritas mais detalhadamente em capítulos posteriores, de forma simplificada, tais como BIM, LSF, REH e DB-HE, na direção da eficiência sustentável transfronteiriça e do desempenho energético das edificações. Nos anexos, estão os conteúdos auxiliares utilizados como guia para as bases informativas dessa dissertação.

2.7 Classificação energética dos edifícios

Utilizando os conceitos regulamentares dos *Building Energy Modeling* (BEM) pela geometria, material, clima, equipamentos e uso de energia renováveis das edificações, desenvolvem-se modelos que permitem a classificação energética através de fatores de conversão de energia útil para energia primária [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$] e de fatores de conversão de energia primária para emissões de CO_2 ($\text{kgCO}_2/\text{kWh}_{EP}$), que expressam por meio de indicadores o desempenho energético da edificação, fornecendo informações para a melhoria do comportamento energético (GUIA SCE 3, 2020).

Assim sendo, a partir da energia consumida pelo edifício, em virtude de determinadas condições climáticas anuais e superfície útil do edifício, são obtidas as necessidades associadas às condições normais de operação e ocupação, que incluirão a energia consumida em: aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de água quente sanitária, iluminação e energia renováveis, mantendo, assim, as condições de conforto térmico, qualidade do ar interior e bem-estar dos ocupantes (GUIA SCE 4, 2020).

Na União Europeia, os indicadores globais de eficiência energética são: emissões anuais de CO_2 e o consumo anual de energia primária não renovável (Delarue *et al*, 2007). E os indicadores complementares: a demanda anual de energia para aquecimento, a demanda anual de energia

para arrefecimento, o consumo anual de energia primária não renovável, desagregado por serviços (DB-HE 2009), entre outros.

Para analisar estes indicadores, as unidades utilizadas são: kWh/m² da superfície útil do edifício, para valores de demanda ou consumo, e kgCO₂/m² da superfície útil do edifício, para valores de emissões (Delarue *et al*, 2007). Para cada indicador, utiliza-se uma escala de letras, que vai da letra A (edifícios mais eficientes), até a letra G (edifícios menos eficientes) para Espanha, e de A+ até F, para Portugal, criando uma etiqueta energética.

Com esses princípios, são feitas as averiguações que servem de base para cálculos da eficiência energética das edificações, para cada membro da União Europeia. Pode-se encontrar mais informações sobre a história e processo no “Anexo IV – Panorama geral sobre eficiência energética na Europa”, que foi desenvolvido como base de estudos dessa dissertação, o qual demonstra características do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) de Portugal e do *Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE-HE)* e a *Certificación Energética de edificios residenciales y pequeños edificios terciarios*, regulado pelo *Real Decreto 235/2013 del BOE del 05 de abril de 2013*.

3. CAPÍTULO – METODOLOGIA BIM E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1 A metodologia *Building Information Modeling* (BIM)

Nos últimos 20 anos o BIM (“*Modelagem das informações da construção*”) se fez presente no campo do desenho da construção civil, criando competição entre os países na engenharia de *softwares* e nas produções de soluções com arquitetura informatizada, para auxílio do fluxo de trabalho *Computer-Aided Design* (CAD). Os benefícios que vêm desse modelo de projeto, vinculado a bancos de dados relacionais, provaram ser incrivelmente valiosos para a produtividade na construção civil, representando as propriedades físicas e geométricas de uma edificação, como um modelo 3D orientado a objeto (*Object-oriented programming* - OOP), vinculado de forma parametrizada (Chung-Suk *et al.*, 2011).

Com o avanço da tecnologia, as melhorias na indústria são observadas sob o aspecto da produtividade, utilizando-se índices como o OEE e o EnPI, entre outros, para estimar a medição da eficiência de um processo. No entanto, a indústria AEC apresenta baixa produtividade. Isso ocorre, em parte devido à colaboração limitada entre os participantes desse setor, que fazem o dimensionamento das estruturas das edificações em plataformas que não estão interconectadas (Xun Xu, 2014).

Neste contexto, o BIM surge como uma metodologia colaborativa para facilitar a transferência de informação entre as várias especialidades envolvidas no processo de concepção da construção, melhorando a tomada de decisão nas fases iniciais. Esta metodologia permite que os usuários criem modelos paramétricos baseados em objetos multidimensionais, através de ferramentas para gerenciar o ciclo de vida da edificação (Forcael *et al.*, 2020), podendo, dessa forma, gerar uma interação remota, otimizando a criação do projeto e diminuindo o espaçamento geográfico entre os envolvidos. Também podemos mencionar que com o acontecimento da pandemia em 2020 (Corona Vírus), se tornou uma prática saudável e mais segura de projetar. E como norteia a *European Construction Sector Observatory Building Information Modelling in the EU construction sector* de março de 2019, “o BIM tem se tornado uma tendência europeia na AEC”.

3.2 Interoperabilidade no protocolo IFC

O IFC (*Industry Foundation Classes*) é uma descrição digital padronizada da indústria da construção, desenvolvida pela *BuildingSMART International* (BSI), sendo o mecanismo da interoperabilidade *openBIM* por *open standard*. Visa permitir que a compatibilidade de fluxos seja o foco, ao invés da compatibilidade de dados; ou seja, que o fluxo de trabalho funcione independentemente do *software* escolhido pelo projetista (IFC4, 2021), com base na ISO 16739 *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*.

Com a parametrização do modelo no IFC Builder fazemos a interoperabilidade (IFC 2.3) no Cypetherm REH e exportamos com as mesmas características para o Cypetherm HE Plus. Assim os testes são feitos com agilidade e as informações são fidedignas, sem erros na

conversão ou redigitação dos dados. Além disso, conseguimos parametrizar um objeto com os dados da folha de cálculos do Excel e utilizar a mesma informação em ambos os *softwares* de análise regulamentar de eficiência energética.

3.3. Modelagem dos *softwares* da construção

Os *softwares* BIM trabalham como gestores de bancos de dados integrados. Independente do formato de visualização utilizado durante a realização de uma modificação ou revisão, o sistema atualiza automaticamente todas as demais visualizações dos dados, sejam imagens tridimensionais, tabelas, relatórios, documentos, etc. (CBIC, 2016).

Temos ainda um gerenciamento complexo de paradigmas nos protocolos de dados assumindo o papel de modelo holístico das informações, sendo preciso definir a estrutura (*framework*), para o modelo/objeto na metodologia BIM que será utilizada (Brumana *et al*, 2018), como descrito:

Tabela 4 - Normalização do LOD-LOI (AIA, 2008)

Sigla	Significado	Utilização
LOD	<i>Level of Development</i>	Nível de Detalhe
LOG	<i>Level of Geometry</i>	Detalhes Gráficos
GOG	<i>Grade of Generation</i>	Imagem e Informação
LOI	<i>Specific Level of Information</i>	Parametrização
LOA	<i>Level of Accuracy</i>	Testes

Desse modo, o *input* no DB (*Data Basic* – Banco de Dados) do modelo analisado, interfere diretamente no *output* que teremos para efetuar a análise dos resultados. Um bom exemplo é a inclusão de casas decimais nos *inputs* do sistema, o que aumenta a precisão dos resultados, sendo muito mais significativo e ganhando mais realismo na simulação. Entretanto, também faz mais solicitações do *hardware* e ocupa mais memória RAM (*Random Access Memory*) e processamento da CPU (*Central Processing Unit*), tornando as simulações mais lentas. Em nossos estudos observamos que o Cypetherm utiliza 4 (quatro) casas decimais para efetuar os cálculos, mas somente mostra 2 (duas) casas decimais nos *outputs*.

Os *inputs* podem ser inseridos para várias finalidades nos sistemas BIM, sendo criados metadados no arquivo IFC, para cada uma das informações incluídas. Desse modo, quando fazemos *inputs* de informação em um sistema BIM, direcionamos os *outputs* desejados, pois para a geração de cálculos de dimensionamento estrutural necessitamos de informações diferentes daquelas quando trabalhamos com análise de EEE.

▼ Comportamento

Comportamento Isotrópico

▼ Térmico básico

Coefficiente de expansão térmica 0.00001 inv °C

▼ Mecânico

Módulo de Young 200,000.0 MPa

Coefficiente de Poisson 0.29

Módulo de cisalhamento 79,700.0 MPa

Densidade 7,870.00 kg/m³

▼ Resistência

Resistência ao escoamento 350.0 MPa

Resistência à tração 420.0 MPa

☐ Com tratamento térmico

▼ Propriedades

☐ Transmite luz

Comportamento Isotrópico

Conductividade térmica 45.0000 w/ (m · k)

Calor específico 0.4800 J/ (G · ° C)

Densidade 7,850.00 kg/m³

Emissividade 0.40

Permeabilidade 0.0000 ng/(Pa·s·m²)

Porosidade 0.01

Reflexibilidade 0.00

Resistividade elétrica 1.0000 Ω · m

Figura 8 – Parametrização das propriedades do objeto aço no Revit 2020 (Revit 2020 - Kanuf)

Como se percebe, as parametrizações dos objetos construtivos são diferentes, pois cada um possui uma finalidade e característica peculiar para o resultado desejado. Assim, na criação do modelo, a definição correta das informações findará na maior precisão do resultado obtido. Aqui temos as mesmas definições de criação de objetos existentes na engenharia de sistemas e de *software*, das linguagens de programação orientadas a objetos, sendo utilizadas aqui.

3.4. Avaliação do Ciclo de Vida Energético

De forma colaborativa, o BIM é desenvolvido pontualmente em cada momento do ciclo de vida da edificação para cada componente do projeto, em seu período de execução. O processo de construção da edificação, pode ser definido como um conjunto de interações políticas, processuais, tecnológicas e operacionais, gerando métodos para gerenciar cada momento da vida da edificação, que vai desta elaboração do projeto, até o momento de sua demolição (Caldas e Salgado 2017). Quando trabalhamos a avaliação do ciclo de vida (ACV) da edificação, podemos nos nortear pelo BIM (Eleftheriadis *et al*, 2017) e assim ter uma avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) da edificação.

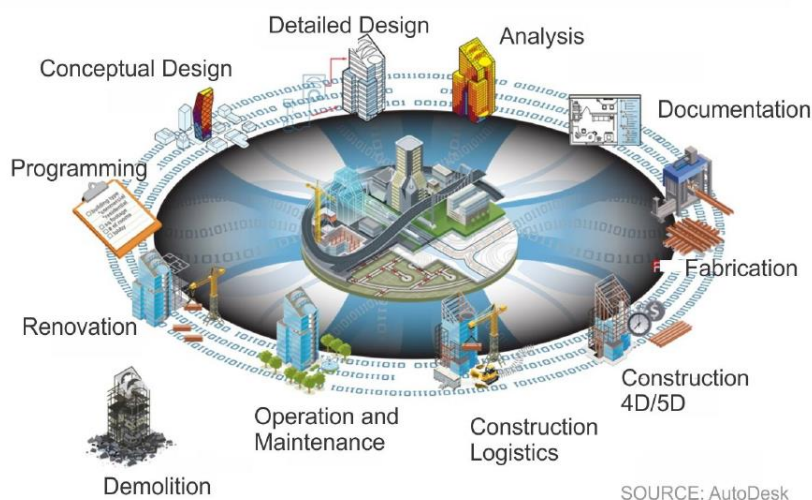


Figura 9 – Ciclo de vida do BIM (Autodesk, 2020)

Além dos regulamentos de EEE existentes, há uma série de programas de certificação de edifícios “verdes” desenvolvidos, por exemplo, LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que é usado nos Estados Unidos, a DGNB (*German Sustainable Building Council / Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*), da Alemanha, o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) utilizado no Reino Unido (Paris *et al.*, 2020), entre outros. O impacto dos edifícios no meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida é certificado por esses programas, avaliando critérios como consumo de energia para aquecimento e arrefecimento dos ambientes, consumo de água, ambiente interno, poluição, gestão de resíduos, ecologia, etc.

O “Plano de Ação da Economia Circular” da UE promove iniciativas ao longo de todo o ciclo de vida do produto, incentivando o consumo sustentável e apontando iniciativas para garantir e minimizar a utilização de recursos, tornando os produtos sustentáveis (ISO 14040:2006 *Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*). A avaliação do ciclo de vida (LCA - *Life Cycle Assessment*) é uma técnica de gestão ambiental que permite avaliar o impacto ambiental dos produtos e edifícios de construção ao longo de toda a sua vida (Paris *et al.*, 2020).



Figura 10 – Processos em Energia Sustentável das edificações (Paris *et al.*, 2020)

Uma tendência da utilização da ACVE nas edificações é a atualização do selo de certificação americana LEED, que em sua versão 4 incorporou a necessidade de se realizar ACV dos componentes da edificação (Caldas e Salgado, 2017). Dessa maneira, espera-se que essa tendência também seja incorporada aos selos de certificação em outros países, sendo esse outro motivo para uso de matérias recicláveis, como o caso do LSF, e materiais mais sustentáveis nas futuras análises de eficiência energética das edificações.

Podemos então observar a importância da energia incorporada nos materiais, resultante dos insumos energéticos necessários para as etapas referentes ao processo de fabricação, transporte e outros insumos indiretos, além da fase de uso, manutenção e disposição final de resíduos,

onde a energia gasta no tipo de material utilizado na construção, deveria ser incorporada na EEE.

Os modelos baseados em BIM estão se expandindo para fornecer um banco de dados virtual de todas as informações relacionadas à construção e desempenho de um edifício. O potencial do BIM no gerenciamento do ciclo de vida é muito mais abrangente (Utkucu, 2020), sendo abordado somente os principais tópicos para entendimento e eficiência dos processos que seguem nosso estudo na escolha do LSF e do BIM como norteador.

3.5 *Building Energy Modeling (BEM) & BIM*

O Design Builder, o Insight 360 entre outros *softwares*, são referência em BEM (*Building Energy Modeling*), que utilizam o esquema *Green Building XML* (gbXML), para facilitar a transferência de informações da construção em BIM baseados em CAD, permitindo a interoperabilidade entre diferentes projetos de construção e ferramentas de *software* para análise na engenharia (gbXML, 2021). Temos ainda os *plug-ins* como o *Green Building Studio* para o Adobe Revit, e o *OpenStudio* para o Sketchup, que usam a *interface* dos programas citados, com o motor Energyplus, que foi desenvolvido pelo U.S. *Department of Energy's* (DOE), *Building Technologies Office* (BTO), como gerenciador para o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), e é um *software* de análise dinâmica de eficiência energética, o mesmo usado no Cypetherm HE Plus para simulação de demanda e consumo energético.

Temos ainda outras ferramentas como *Ladybug Tools*, que conecta *interfaces* 3D com CAD a uma série de mecanismos de simulação, construído para a interoperabilidade entre os motores de simulação: Radiance, EnergyPlus / OpenStudio, Therm / Window e OpenFOAM, sendo *open source*, integrados a *3D modeling softwares*, o que permite a transferência de dados entre seus motores de simulação, de forma parametrizada e interativa, podendo otimizar a simulação com a linguagem de programação Python (LADYBUG, 2021), seguindo a metodologia BIM/BEM.

Podemos contar com propostas como as do projeto BIMER europeu, que é o desenvolvimento de um kit de ferramentas holísticas baseadas em BIM para TIC - *ICT-enabled Renovation 4.0 framework*, como suporte à AEC em todo o processo de renovação de eficiência energética dos edifícios existentes. Com a interoperabilidade semântica entre suas próprias ferramentas e as ferramentas de TIC de terceiros, o BIMER busca permitir o uso contínuo do BIM e a troca de informações entre a comunidade AEC, em um esforço para impulsionar a rápida adoção do BIM na renovação do estoque existente de edifícios da UE (BIMERR RENOVATION 4.0, 2021), lidando com dados *OpenBIM* que estão em conformidade com o padrão IFC4 (*Industry Foundation Classes 4*) e BEM. Atualmente existem vários *softwares* de simulação em nuvem para avaliação do conforto térmico baseados em CAD, na metodologia BIM.

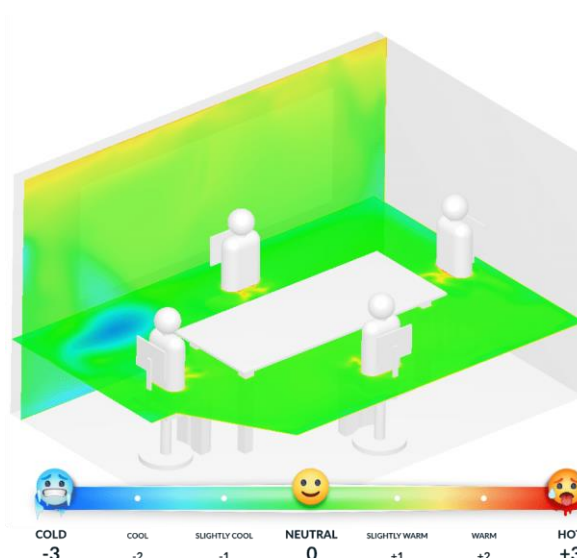


Figura 11 - Visualização do parâmetro de conforto térmico (PMV - *Predicted Mean Vote*) na sala de reuniões (SimScale thermal, 2021)

Entre as vastas opções existentes no mercado, usamos os *softwares* Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus, direcionados para a regulamentação de eficiência energética de Portugal e Espanha respectivamente. Acrescidas todas as vantagens do BIM/BEM, que necessitamos para a execução da proposta dessa dissertação, como: algoritmos de cálculo dos regulamentos REH e DB-HE, análise energética, parametrização, modelagem 3D e interoperabilidade, que são intrínsecos à agilidade das análises e testes realizados no modelo de estudo proposto.

3.6 Dimensões do BIM

As dimensões na metodologia BIM englobam o desenvolvimento, direção, monitoramento e controle da construção, o comportamento energético da edificação, estrutural, as instalações e acabamentos, além da manutenção com o *Facility management*.

Para organizar todos esses processos foram criadas as dimensões 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D e 10D (Montiel *et al*, 2020).

Em sintaxe, o BIM assume a evolução dos sistemas de design tradicionais baseados no plano (2D), uma vez que incorpora informações geométricas (3D), tempo (4D), custos (5D), sustentabilidade ambiental (6D) e gestão de instalações (7D), com ações para o futuro da Segurança e Riscos na Construção (8D), gestão para reabilitação (9D) e Modelos para *Smart Cities* (10D).

3.6.1. BIM 6 D

A sexta dimensão do BIM (BIM 6D), está ligada à sustentabilidade ambiental do projeto, facilitando o processo para certificação do edifício. BIM é uma tecnologia chave que permite uma gestão avançada dentro da construção e indústrias de engenharia civil, visando melhorias em sustentabilidade (Villena *et al*, 2020) com o BEM.

O foco desse estudo está no BIM 6D, onde são utilizadas as informações das dimensões anteriores, principalmente a definição de geometria, materiais de construção e equipamentos,

gerando um modelo energético de um edifício (BEM), para simular seu comportamento e permitir que ajude nas tomadas de decisões sobre o projeto e operação da edificação. A abrangência não é apenas para edificações novas e normatizadas conforme legislação vigente (DB-HE ou REH), mas também para a reabilitação de edifícios (Montiel *et al*, 2020). As simulações também analisam as possibilidades de incorporação e utilização de energias renováveis, permitindo uma redução nas emissões de CO₂ do edifício.

3.7. Eficiência energética no BIM

As opções de tecnologia nos esforços em direção à sustentabilidade pela eficiência energética no LCA, resultam em economias de custo operacionais e construtivos, correspondentes a critérios-chaves nos processos e desenvolvimento, resultando em perdas ou minoração do desempenho, que eram contabilizadas normalmente após a documentação do projeto arquitetônico e da construção. Agora são previamente computadas, pois a falta de integração levava a um processo ineficiente, havendo modificação nos processos e alcançando um conjunto de desempenhos críticos (Chung-Suk *et al*, 2011).

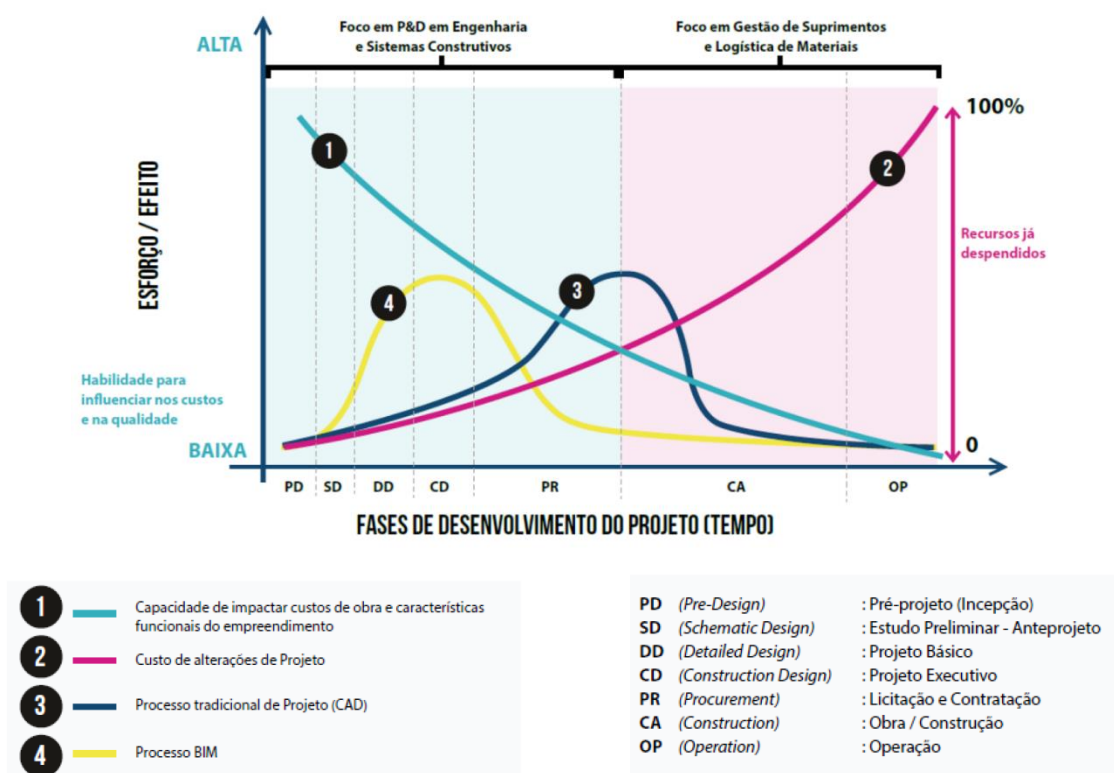


Figura 12 – Gráfico comparativo (Curva de MacLeamy (2004)) entre o processo tradicional de desenvolvimento de projetos (CAD) e o processo BIM (CBIC, 2016)

Com uma metodologia complexa, por tratar amplamente de todo o ciclo de vida da edificação, a eficiência da utilização do BIM no processo de eficiência energética pode ser analisada na melhoria de produção, qualidade e tempo.

Tradicionalmente as tomadas de decisões no projeto de construção tem se concentrado em medidas de energia que abordam a fase operacional. Todavia, como as políticas relacionadas

ao uso de energia em edifícios aumentam com os critérios nZeb, e outros protocolos de medidas, as pesquisas para analisar os impactos de diferentes construções e o uso de seus materiais no desempenho de energia para toda a fase do ciclo de vida (Eleftheriadis, 2017), tem se tornado a cada dia mais importante.

Com o BIM 6D, pode-se ajudar a reduzir a pegada de carbono (*Carbon Footprint*) e melhorar drasticamente a eficiência com *inteligente buildings* e *green buildings*, pois ele foi projetado para ser ambientalmente responsável e eficiente em termos de recursos. Para manter a sustentabilidade contínua, os edifícios verdes (*green buildings*) também precisam ser inteligentes. Usando alta tecnologia, sensores IoT e processos para criar um ambiente confortável para seus ocupantes, eles também necessitam ser operacionalmente eficientes em termos de energia e adaptáveis a futuras mudanças ambientais.

A maioria dos edifícios se tornaram tão complexos que exigem um BMS (*Building Management System*) para coletar as informações, analisar e interpretar a eficiência energética. À medida que mais informações sobre o desempenho dos “objetos inteligentes” são adicionadas, o BIM pode ser usado com um BMS para criar um modelo de energia de alta precisão (CBIC, 2016).

A primeira etapa é a definição da localização do edifício, que fornece um *link* para informações meteorológicas. Outras informações devem ser fornecidas através da importação de dados do BIM e as etapas restantes compreendem a definição de construção e materiais, tipos de espaço, zonas térmicas, cargas espaciais, sistema HVAC e componentes (Utkucu e Söze, 2020)

O fluxo de dados em toda a estrutura proposta, é categorizado neste estudo de acordo com as informações obtidas pela normativas Portuguesas e Espanholas para desempenho energético, limitando os *inputs* existentes as limitações dos *softwares* de simulação.

No “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPETHERM HE PLUS”, temos o detalhamento dos passos de modelagem, da parametrização, da interoperabilidade e procedimentos adotados.

No “Anexo XXXIII - BIM Studio”, mostramos as análises mais aprofundadas sobre o BIM.

O BIM/BEM é o conceito de mudança paramétrica que permite às empresas AEC implementar de forma mais eficaz o *design* sustentável e aumentar a eficiência energética dos edifícios. Além de termos um *Digital Twin* (gêmeo digital), que é uma cópia exata, um modelo virtual, de um objeto real no qual é possível realizar testes, evitando assim possíveis problemas e/ou erros.

4. CAPÍTULO – MODELO CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAMING*

4.1 O sistema *Light Steel Framing* na eficiência energética

Com o intuito de controlar a qualidade do conforto dentro de um ambiente de modo que as condições externas não influenciem nas internas, o isolamento térmico e acústico é uma forma de minimizar a transmissão de sons e evitar as perdas ou ganhos de calor. Por isso os materiais construtivos têm um papel fundamental no isolamento termoacústico, pois constituem as barreiras físicas entre os ambientes e o exterior (Steel Framing, 2012).

As estruturas de aço laminadas a frio híbridas (HCFS - *Hybrid cold-formed steel*) são sistemas estruturais da indústria de construção de aço leve, que oferecem novas possibilidades. O grande desempenho estrutural, os vislumbres associados a sustentabilidades, bem como os custos econômicos e sociais dessas estruturas, são de grande importância para a tomada de decisão, quando se trata de escolher sobre o emprego desse sistema, em comparação aos seus homólogos convencionais (Usefi, 2020). Os painéis, ou lâminas, também denominados de “sandwiches”, possuem diversas configurações, dependendo do objetivo, da zona climática e da viabilidade econômica para melhorar a sensação térmica, acústica, e resistência contra o fogo e ao sismo, como para o uso de acabamentos e *design* arquitetônico (ALACERO, 2021).



Legenda

- 1 - Placa de gesso;
- 2- Perfis de aço formados a frio;
- 3 - Lã mineral;
- 4 - OSB; e
- 5 -ETICS com EPS.

Figura 13 - Exemplo de aplicação dos materiais em uma seção transversal de parede em LSF

A eficiência energética na Europa é uma questão legislativa (*COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2016/1318 - on guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure*). Várias empresas investem em sistema de isolamento térmico externo (ETIS/SATA - *Sistema de aislamiento térmico exterior*), dos mais diversos, para atender a demanda regular nZeb, de bem-estar térmico e acústicos da população.

Cientes de que o tipo de material usado pelo sistema construtivo da edificação possui capacidade térmica específica, densidade de massa, condutividade térmica, transmitância, refletância, absorvância da radiação solar, emissividade e forma, além de dimensões e

orientações (Steel Framing, 2012), a escolha do material utilizado também determina o consumo energético da edificação. Assim, optamos pelo uso do *Light Steel Framing* como material utilizado no estudo regulamentar de análise da EEE entre Portugal e a Espanha, por sua característica térmica, de produção racional, de utilização com o BIM, de reutilização do aço, de material *stander*, e pelos aspectos na construção 4.0 associados ao BEM.

Então temos um sistema construtivo de concepção racional, com uma estrutura constituída de perfis laminados a frio, de aço galvanizado, utilizados para a composição de painéis estruturais e não-estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes (Kokke *et al.*, 2012).

O sistema de construção com aço laminado a frio também é encontrado na bibliografia internacional com as expressões *Residential Cold-Formed Steel Framing* nos Estados Unidos e *Light Steel Frame Housing*, na Europa (Rodrigues, 2006), empregando-se também expressões como aço leve, aço moldado a frio (CFS - *cold-formed steel*), *acero conformado en frío* (SFC - *Cold Form Steel*), e *acero de calibre ligero* (LGS - *Light Gauge Steel*) (FRAMECAD, 2021). É denominado de “construção a seco”, por ser um sistema da construção civil que consiste em materiais secos (Burstrand, 1998), com pouquíssimo uso de água; outras vezes é designado como sistema autoportante de construção a seco (Rodrigues, 2006).

Podemos perceber que o sistema recebe várias nomeações, podendo ser descrito de formas distintas, com detalhes construtivos (método Stick, pré-montagem em canteiro ou fabricação) que possuem singular diferença e aplicabilidade, porém com as mesmas bases construtivas (Kokke *et al.*, 2012). O projeto, o cálculo de dimensionamento e a aplicação de perfis conformados a frio, devem estar de acordo com a Eurocode 3: *Design of steel structures*, a *Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting* e a *Part 1-5: Plated Structural Elements*.

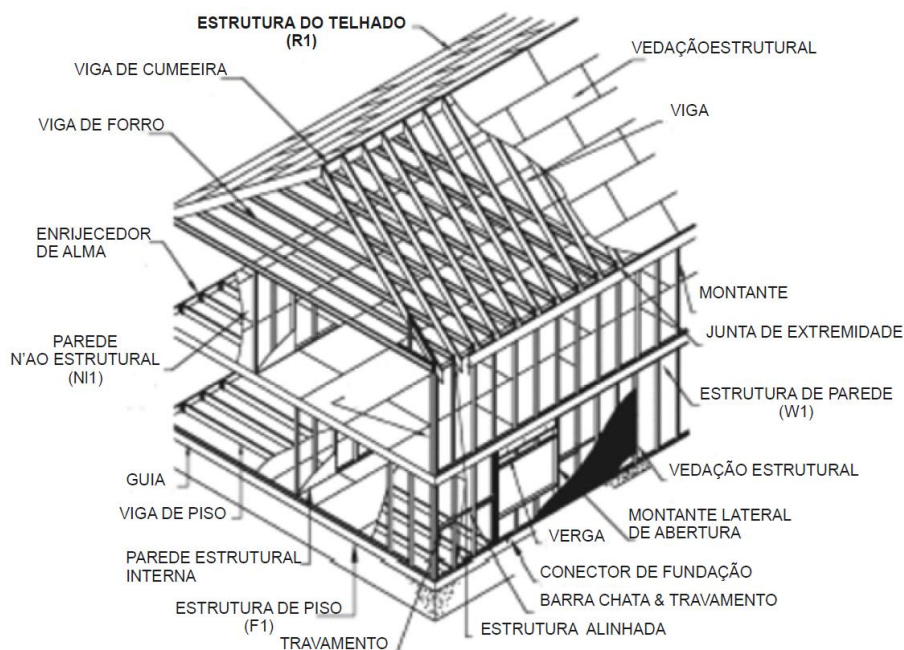


Figura 14 - Esquema de uma estruturada no sistema *Ligth Steel Framing* (CBCA, 2003)

O LSF é caracterizado por três materiais principais, que são usados em suas paredes e lajes (CBCA, 2003):

- Perfis de aço laminados a frio, para suporte de carga;
- Painéis de revestimento (por exemplo, placa de fibra orientada (OSB - *Oriented Strand Board*) ou gesso cartonado)
- Materiais de isolamento (por exemplo, lã mineral e/ou poliestireno expandido).

Porém mais materiais são necessários para a união e fixação, incluindo parafusos auto perfurantes e membranas impermeáveis e herméticas nas camadas de acabamento, para evitar problemas relacionados com a umidade do solo (Soares *et al*, 2017). Geralmente usa-se uma laje de concreto armado do tipo radier como alicerce, protendido ou não protendido, dependendo da carga e do tipo constituição do solo.

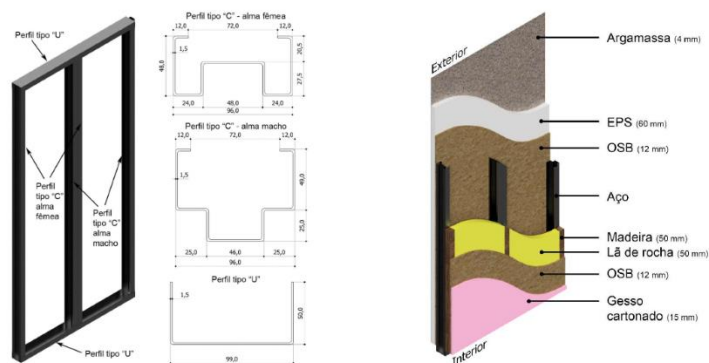


Figura 15 - Módulo de parede no sistema LSF (Martins et al, 2017)

a) Estrutura de aço

b) Constituição da parede

Com o sistema LSF, a busca de tecnologia e de qualidade tem gerado muitos estudos de materiais para as estruturas dos painéis, suprimindo as diversas necessidades dos construtores e da localização a ser construída a edificação. Abaixo temos dois exemplos com as respectivas empresas:



Figura 16 – Exemplo de sistema de painel Fachada da empresa Saint-Gobain (Passivehaus Portugal, 2018)

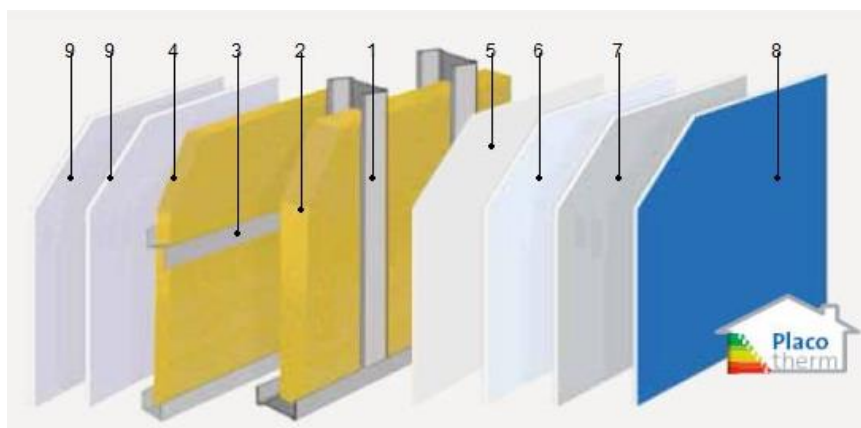


Figura 17 - Fachada leve de placas (Sistema Placotherm Integra "PLACO", 2021)

Legenda: 1: Estrutura exterior. 2: Isolamento exterior. 3: Estrutura interior. 4: Isolamento interior. 5: Impermeabilização. 6: Placa exterior. 7: Camada de base. 8: Camada de acabamento. 9: Placas interiores.

Toda a estrutura da edificação em LSF – painéis, pisos e estrutura de telhado, dividem o sistema em uma grande quantidade de elementos estruturais equidistantes, de modo que cada um deles resista a uma pequena parcela do carregamento total, seguindo o conceito *in-line framing*, de modo que as almas dos perfis das vigas, tesouras ou caibros da cobertura sejam instaladas alinhadas às almas dos montantes dos painéis de apoio e suas seções em coincidência de modo que a transmissão das cargas seja axial (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021).

Em virtude de maior aprofundamento no mercado de LSF na Europa, o “ANEXO V – Orçamento Arquimedes Fachada leve de placas, Sistema Placotherm Integra PLACO” mostra o orçamento gerado pelo sistema Arquimedes da Cype em 2020, onde consta o valor de 104,93€ por m² para região de Murcia na Espanha, com as descrições dos materiais da figura 17, além de desempenho, preço unitário, montante, mão de obra, resíduos, normas relacionadas e várias características técnica do produto. Porém não vamos abordar neste estudo o funcionamento destas matérias e como são instalados e dimensionados, deixando esses aspectos para estudos direcionados para essas áreas do saber.

4.2 O LSF e o BIM – O processo construtivo

Os métodos de construção baseados em design (*Design-led construction*) usam *software* e tecnologia de fabricação para produzir componentes de construção com um alto grau de precisão. Esses métodos normalmente apresentam recursos sofisticados, plataformas de *software* integradas que automatizam o design, engenharia, fabricação e processos de construção de um projeto. (FRAMECAD, 2021)

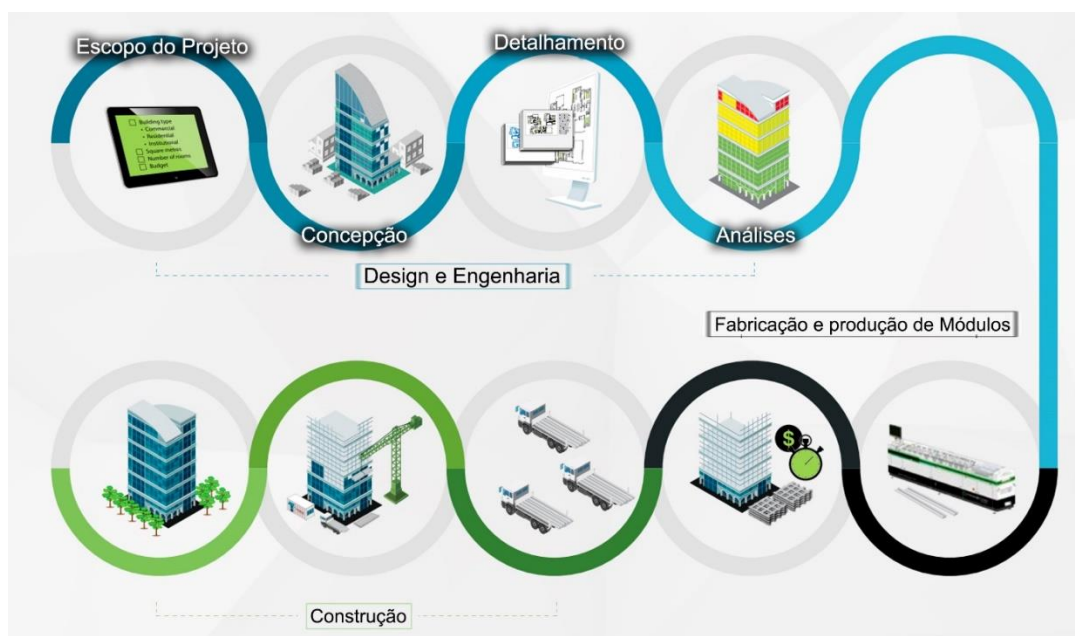


Figura 18 - *Design-led construction* em LSF (FRAMECAD, 2021)

Significa que a maior parte da habilidade do projeto está nas fases de projeto e detalhamento, como demonstrado na Curva de processos BIM de MacLeamy (2004).

As conclusões do Conselho de 10 de junho de 2011 relativas ao Plano de Eficiência Energética de 2011, salientam que os edifícios representam 40% do consumo de energia final da União Europeia e que os Estados-Membros devem assegurar a melhoria do desempenho energético dos edifícios. Para as medidas de eficiência energética em edifícios público, habitações, edifícios comerciais, foram acrescentadas novas competências para promover o emprego no setor da eficiência energética, como uma das principais áreas de financiamento (Diretiva 2012/27/UE).

Os Estados-Membros necessitam estabelecer estratégias de longo prazo para além de 2020, no plano de ação da agenda 2030, nos *Sustainable Development Goal 17*, com a mobilização de investimento na renovação de edifícios residenciais e comerciais, tendo em vista melhorar o desempenho energético, com políticas nZeb para novas construções. Por isso, a busca por metodologias de construções, como materiais mais eficazes é cada dia mais importante para indústria da construção civil (Diretiva 2012/27/UE).

Os impactos incorporados calculados mostram que a produção de materiais é a fase mais importante (64-90% de energia incorporada (*embodied energy*) e 59-87% de GEE (*greenhouse gas emissions*) e que as estruturas com enquadramento LSF ou madeira têm o menor impacto, quando comparadas a construção em aço e a construção em concreto armado, que são mais elevadas (Tavares *et al*, 2019).

4.3. Modelo Térmico em LSF para o caso em estudo

O foco principal dos nossos estudos é o material construtivo e sua eficiência energética na edificação, comparando as normas de Portugal e Espanha. A escolha do sistema LSF se faz justificável, por ser um dos tipos de sistemas construtivos com alto ganho em eficácia, e a sua racionalização na construção 4.0 com o BIM, além dos elementos serem *standard*, usando os mesmos materiais em Portugal e na Espanha. Não é mencionado os cálculos estruturais, porém para os elementos construtivos, pode-se obter mais informações no “Anexo VI – Detalhamento do sistema *light steel frame construction* com isolamento térmico”, que acompanha esse trabalho. Também não nos deteremos nas formas de instalações elétricas e hidráulicas, apesar de fazerem parte importante de um estudo de eficácia energética das edificações. Focamos os estudos na parte térmica das envolventes, na transferência de calor e qualificação energética dos regulamentos de Portugal e da Espanha.

O sistema LSF pode facilmente incorporar vários tipos e configurações de isolamento térmico e acústico, resultando em edificações com desempenho e altamente funcionais, se adequadamente projetado e a construído (Soares *et al*, 2017).

Entretanto, um aspecto importante são as pontes térmicas, pois elas são caminhos de calor preferenciais através da envolvente do edifício e podem ter um impacto significativo no

desempenho térmico dos edifícios em LSF, pois aumentam a transferência de calor através da envolvente do edifício (Soares *et al*, 2017).

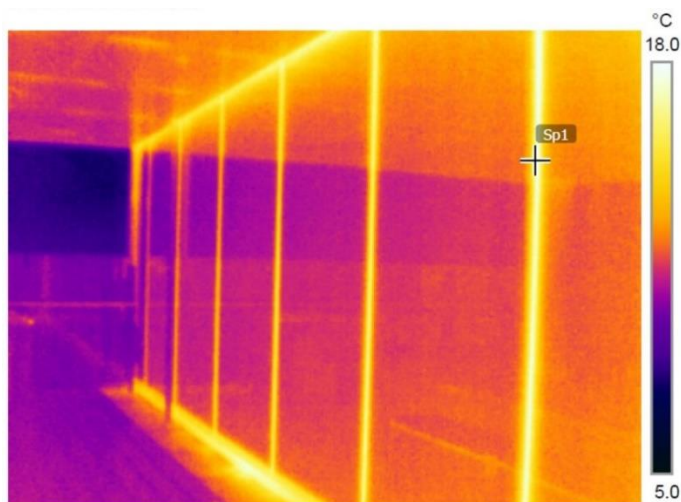


Figura 19 - Ponte térmicas dos paines em LSF (ACEDUR, 2021)

Na figura 19, temos a visualização de uma câmera de imagem térmica das pontes térmicas em uma estrutura de LSF. Cada montante e guia, transfere calor entre o interior e o exterior, devido à alta condutividade térmica do aço. Assim, temos a influência das pontes térmicas impulsionadas pelas fixações do aço na estrutura.

Em estudos prévios de Roque e Santos (2017) - *The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position*, analisaram um modelo de construção de quadro híbrido (*hybrid frame construction*), e concluíram que as pontes térmicas pontuais, no sistema LSF com muito isolamento, poderiam ser negligenciadas na análise térmica, tendo em vista que a diferença é muito pequena no valor da transmitância térmica ($0,0049 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$) obtido da parede da fachada, utilizando os matérias *Gypsum board*, OSB (*Oriented strand board*), ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) finish, LSF, EPS (poliestireno expandido sintetizado) e Air.

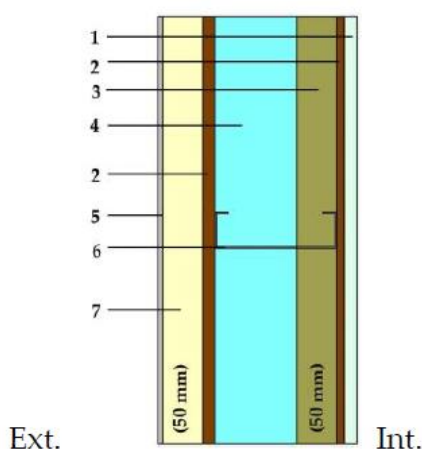
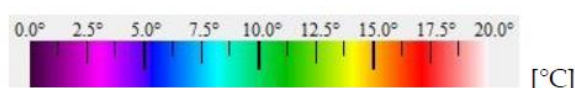
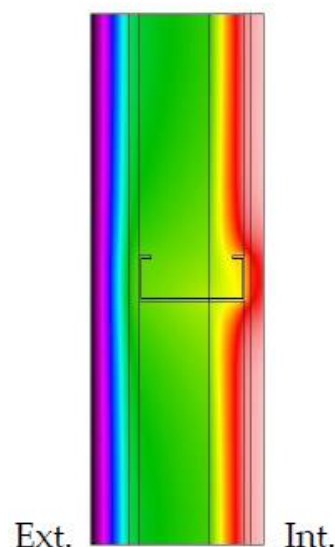


Figura 20 - LSF Hybrid frame construction - Estruturas das camadas da fachada (Roque e Santos, 2017)

Tabela 5 - Espessuras e características térmicas das camadas dos materiais (EN ISO 6946)

Camada	Material	d(mm)	U (W/m ² .K)
1	<i>Gypsum board</i>	15	0.250
2	OSB	15-10	0.120
3	RW	50	0.037
4	Air	100	1
5	ETICS <i>finish</i>	5	0.45
6	LSF	150	50
7	EPS	50	0.036

Paredes construídas para regiões frias, podem exigir grandes quantidades de isolamento térmico, a fim de atingir os requisitos mais exigentes impostos pelo REH, consequentemente, aumentando seus custos e a espessura total das paredes da fachada (Roque e Santos, 2017).


Figura 21 - Escala de temperatura (Software THERM Version 7.4.3, 2016)

Figura 22 - Tèrmica LSF Hybrid frame construction U = 0.3581 [W.m⁻².K⁻¹] (THERM, 2016)

Seguindo as premissas apresentadas por Roque e Santos (2017), onde vemos que as pontes térmicas do LSF são significativas, mas que em paredes com muito isolamento térmico podem ser negligenciadas. No modelo de estudo, não consideramos nenhuma ponte térmica existente na estrutura de LSF, oriundas de sua estrutura em aço. No entanto, deixamos claro a sua importância e somente não foi calculado por falta de estudos empíricos e por não apresentarmos o dimensionamento estrutural, o que informaria a distância entre os perfis de aço conformado a frio, a quantidade e a forma que o aço é apresentado na estrutura.

O estudo das pontes térmicas deverá ser objeto para análises laboratoriais futuras. No entanto, no “Anexo II – Pontes térmicas dos elementos em LSF”, pode-se encontrar os resultados do Cypetherm Bridge para os encontros das paredes, do projeto apresentado nessa dissertação.

A simulação computadorizada utilizada é de uma edificação construída com o material estrutural em aço leve (LSF – C150) e se encontra descrita no “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPERTHERM HE PLUS”.

4.5 Patologías térmicas em LSF

Apesar dos pontos positivos citados acima, a baixa massa térmica da construção em LSF pode ser problemática para algumas condições de funcionamento e climas, levando a vários problemas relacionados ao conforto, como por exemplo, superaquecimento e maiores flutuações de temperatura (FUTURENG, 2021).

Kendrick, Ogden e Wang (2012) sugerem que a construção leve pode levar a temperaturas internas mais altas durante o verão, particularmente nos cenários mais quentes, devido à falta de massa térmica.

Rodrigues, Gillott e Tetlow (2013) também apontaram o problema do superaquecimento no verão em uma estrutura de aço. O superaquecimento pode levar a maior demanda de energia de arrefecimento.

Sage-Lauck e Sailor (2014) afirmaram que as envoltentes dos edifícios altamente isolados e herméticos tendem a originar superaquecimento durante o verão, o que aumenta a energia de arrefecimento demandado, ou desconforto térmico em casos onde não há arrefecimento ativos (Bassam e Sansom, 2006).

Dessa forma, o uso de sistemas com inteligência artificial em lógica nebulosa – Fuzzy, por exemplo, com sensores IoT para controle da climatização, é uma ótima solução para manter uma temperatura confortável. Um edifício bem climatizado não sofre grandes variações em sua temperatura (Moret, 2009), mantendo a constância térmica através de processos ativos de eficiência energética. No entanto, em nosso estudo não entraremos em detalhes do funcionamento térmico, acústico e de umidade construtivos desse sistema pois, para tal, haveria a necessidade de um estudo a parte, com outra abordagem e metodologia de análise.

5. COLETA DA INFORMAÇÃO DO IMÓVEL

5.1. Documentação oficial do imóvel

O processo de certificação energética de um imóvel tem como base um conjunto de documentos para validar o certificado energético, que identifica os diferentes vetores energéticos e os consumos, com o levantamento das características da envolvente, dos sistemas técnicos, do tipo de moradia, da zona climática e dos perfis de uso. É importante que se saiba da obrigatoriedade da documentação dessas informações em edifícios novos, ao abrigo do Decreto-Lei 80/2006, em Portugal, e “*Ley 38/1999*” para Espanha.

5.2. Avaliação energética - Orientações da envolvente

As características que devem ser observados em uma avaliação energética, são inicialmente: dados climáticos, delimitação das envolventes, caracterização das soluções construtivas, levantamento dimensional, ventilação, A.Q.S, sistemas de referência e exigência de energias renováveis.

O estudo objeto dessa dissertação, descreve um projeto e seu comportamento térmico, relativo à edificação de uma construção unifamiliar, localizada em Alcoutim, Portugal. Utilizamos o zoneamento climático da cidade de Sanlúcar de Guadiana, na Espanha, devido a sua proximidade, para emularmos as informações do REH no *software* Cypetherm HE Plus e obtermos *outputs* e os Vetores Energéticos dos regulamentos REH e DB-HE. Foram utilizados os algoritmos do Cypetherm para comparar os valores para aquecimentos, arrefecimento, ventilação, AQS e certificação energética em ambos os regulamentos.

Tabela 6 - Descrição da localização da Obra

Características	Referência
Tipo de projeto ou intervenção	Obra Nova
Uso	Residencial Privado
Localização	Alcoutim
Altitude	30m
Tipo de Edificação	Unifamiliar

5.3. Zoneamento climático de referência

Objetivando a comparação entre o regulamento português (REH) e a normativa espanhola (DB-HE) de eficiência energética, optamos pelas cidades de Alcoutim de Faro em Portugal e a cidade de Sanlúcar de Guadiana de Huelva na Espanha, por terem a distância entre elas de 380 m e com características climáticas idênticas, podendo assim presumir que se enquadram na mesma zona climática.



Figura 23 - Localização Geográfica Alcoutim, Faro – Portugal (Google Earth)

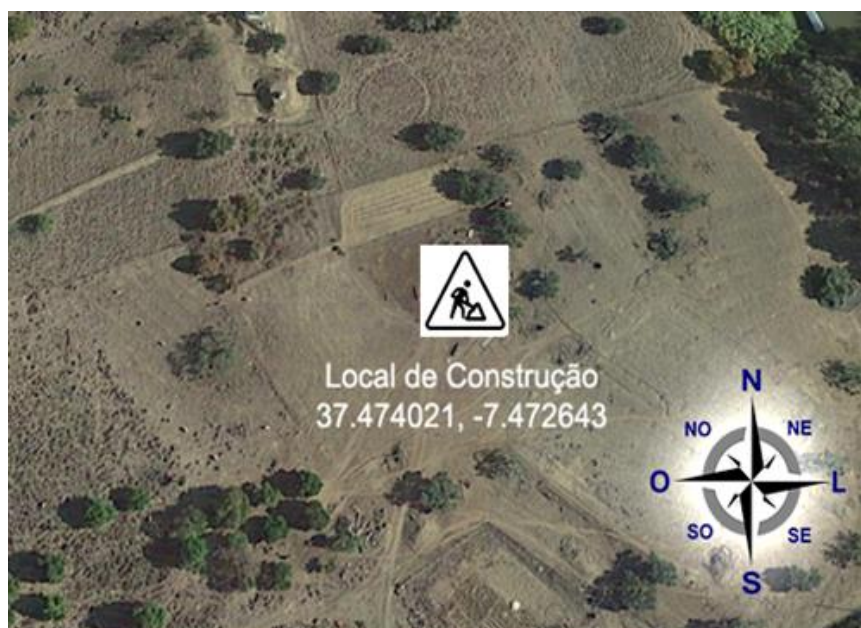
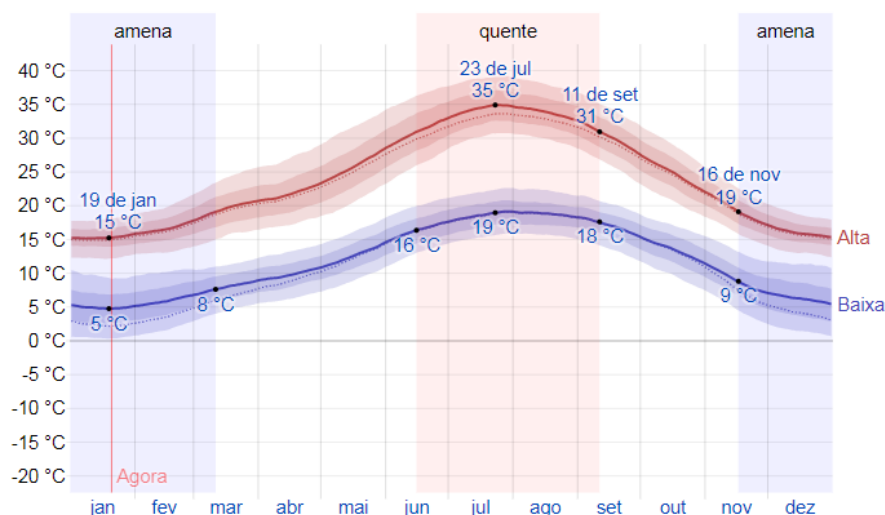


Figura 24 - Local da construção em Alcoutim a 200 m de Sanlúcar com 30m de Altitude (Google Earth)

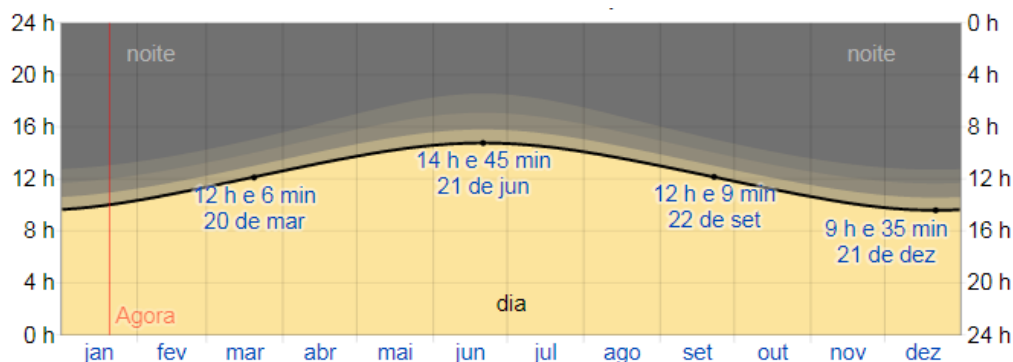
Foi considerada uma edificação nova para o estudo, localizada em um clima de inverno brando, no município de Alcoutim, no distrito de Faro, Portugal, isolada de urbanização, em um sítio rural. A altitude considerada é de 30 m acima do nível do mar e a edificação está a 5 Km (Região A) da costa marítima, no Alto Alentejo.

Gráfico das Temperaturas máximas e mínimas médias de Alcoutim e Sanlúcar (WeatherSpark.com)



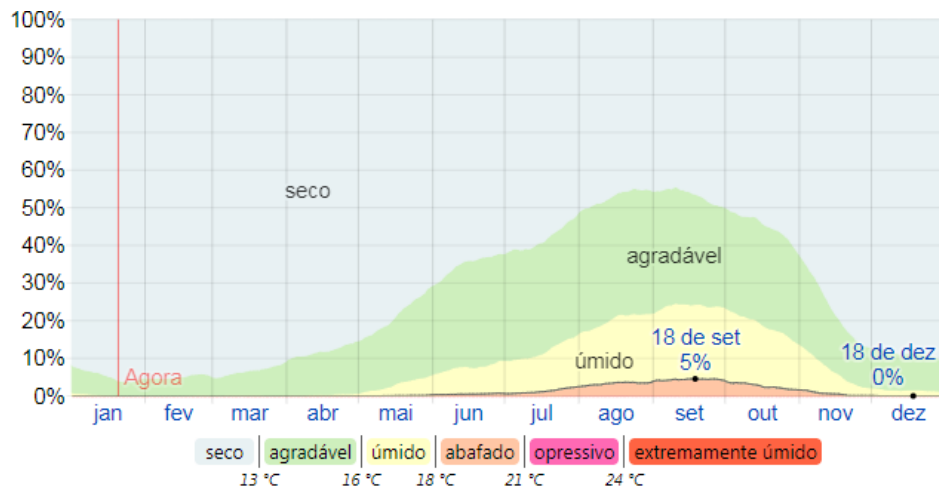
Legenda: Temperatura máxima (linha vermelha) e mínima (linha azul) médias. As linhas finas pontilhadas são as temperaturas médias percebidas correspondentes.

Gráfico das Horas de luz solar e crepúsculo de Alcoutim e Sanlúcar (WeatherSpark.com)



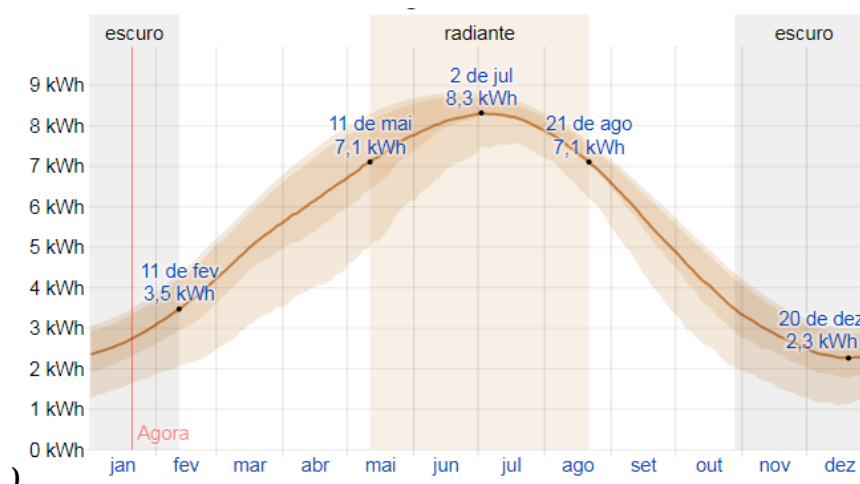
Legenda: Número de horas em que o sol é visível (linha preta). De baixo (mais amarelo) para cima (mais cinza), as faixas coloridas indicam: luz solar total, crepúsculo (civil, náutico e astronômico) e noite total.

Gráfico dos Níveis de conforto em umidade de Alcoutim e Sanlúcar (WeatherSpark.com)



Legenda: A porcentagem de tempo passado nos vários níveis de conforto de umidade, categorizada pelo ponto de orvalho.

Gráfico da Média diária de energia solar de ondas curtas incidente de Alcúitim e Sanlúcar (WeatherSpark.com)



Legenda: Energia solar de ondas curtas média que chega ao solo (linha laranja), por metro quadrado

5.4. Requisitos gerais do levantamento dimensional

Um correto levantamento dimensional é essencial para a avaliação do desempenho energético. Esse levantamento consiste na quantificação da dimensão dos elementos construtivos que compõem a envolvente, das perdas e ganhos térmicos pela envolvente, opaca e envidraçada.

Tabela 7 - Área útil de pavimento - levantamento dimensional (IFC Builder, 2021)

Divisão	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Banheiro	2.58	2.52	4.2	6.50
Quarto	15.03	2.52	24.4	37.88
Circulação	8.94	2.52	14.5	22.53
Jantar-Cozinha-Sala	32.65	2.52	53.0	82.28
Hall	2.38	2.52	3.9	6.00
TOTAL	61.580	2.520	100.0	155.18

5.4.1. Envolvente

A orientação das envolventes é de extrema importância na avaliação energética, no REH e no DB-HE. Para a simulação computacional, usamos a orientação sul-norte para a fachada principal (que possui a porta de entrada), sem qualquer inclinação de eixo.

O conjunto de elementos construtivos da envolvente, compreendem as paredes, coberturas e pavimentos, que separam a área interior útil do exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo (Alínea Z do art.º 2 do Decreto-Lei n.º 118/2013).

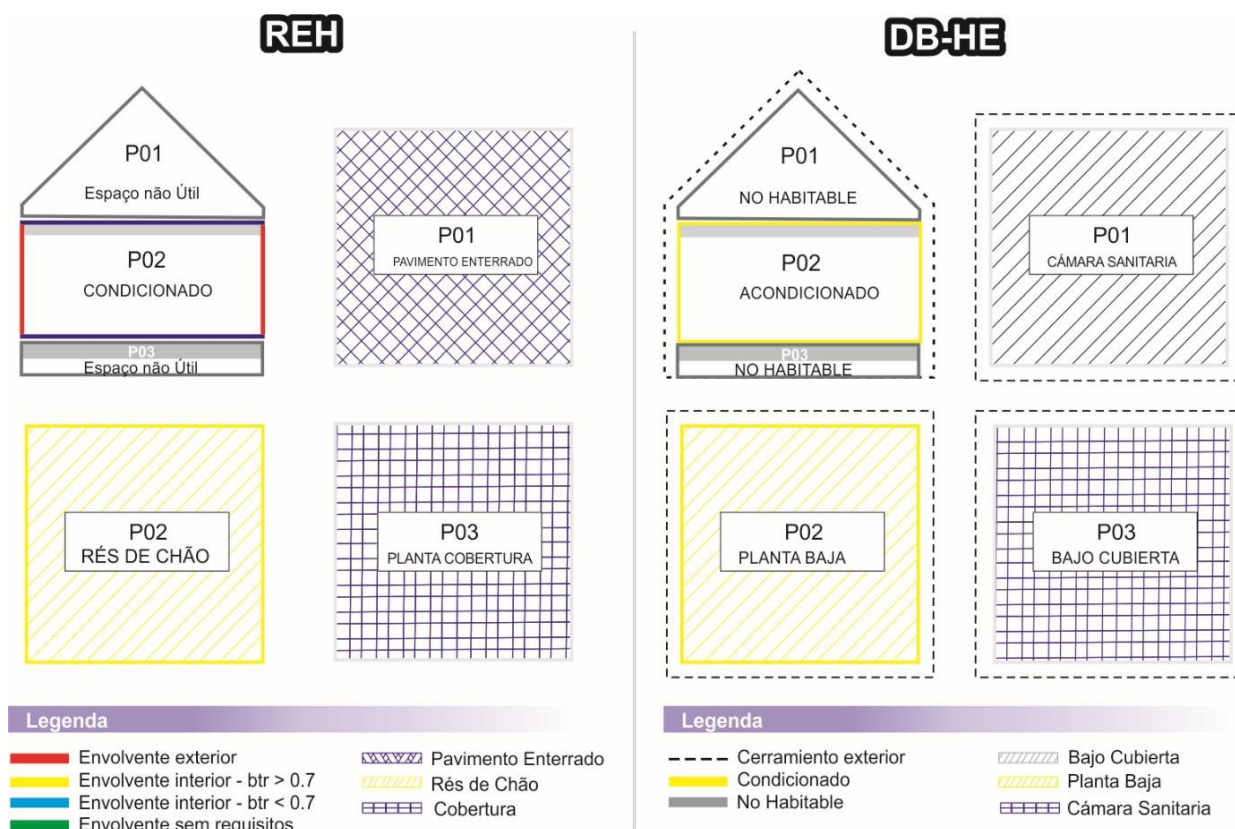


Figura 25 - Características das Envolturas térmica no REH e DB-HE

5.4.2. Arquitetura e Definição Geométrica

Para a medição de áreas, podemos citar os seguintes parâmetros a serem considerados: Área interior útil, coeficiente de redução de perdas, pé direito, elementos verticais exteriores, elementos verticais interiores (paredes em contato com “espaços não úteis” - ENU), elementos verticais interiores (paredes em contato com edifícios adjacentes), elementos horizontais exteriores, elementos horizontais interiores (pavimentos ou coberturas em contato com espaços não úteis) e elementos em contacto com solo (GUIA SCE 6, 2020)

A planta arquitetônica fornece muito mais que a aparência estética de uma edificação. Ela também determina o bem-estar dos habitantes, sendo o posicionamento solar um fator determinante para seu desenho. Considera-se o posicionamento de janelas, os tipos de materiais usados em sua fachada, equipamentos de aquecimento e arrefecimento, entre outros aspectos que irão melhorar a eficiência energética passiva e ativa da edificação, e o conforto interno.

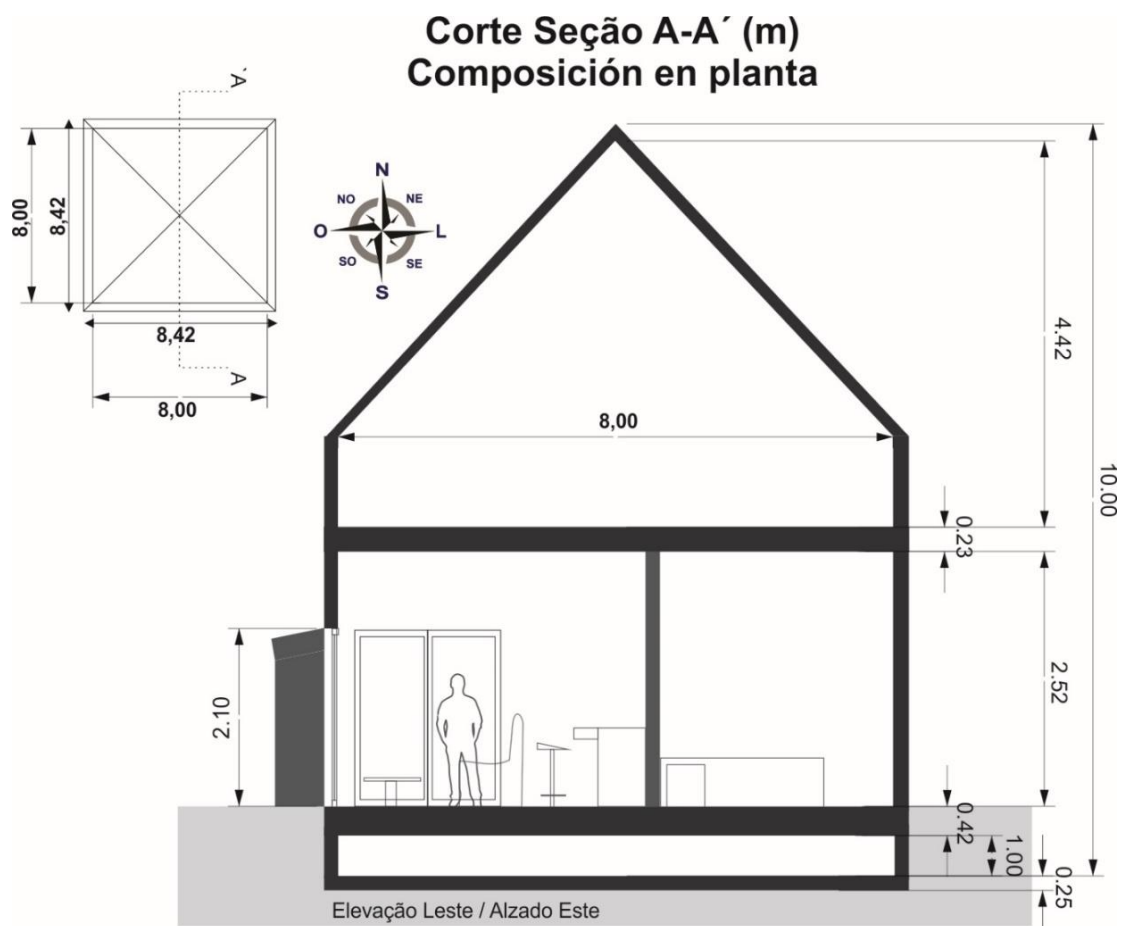


Figura 26 - Corte Seção A-A' (m) / Composición en planta – Modelo utilizado na simulação computacional

Os aspectos arquitetônicos da edificação, para maior ganho de eficiência energética, localização de janelas, formas geométricas dos compartimentos, entre outros, não foram consideradas para o modelo virtual em estudo, tomando como base o modelo ilustrado no *Guía de aplicación DB HE 2019 EJEMPLO I – CTE - Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*.

Plantas das secções

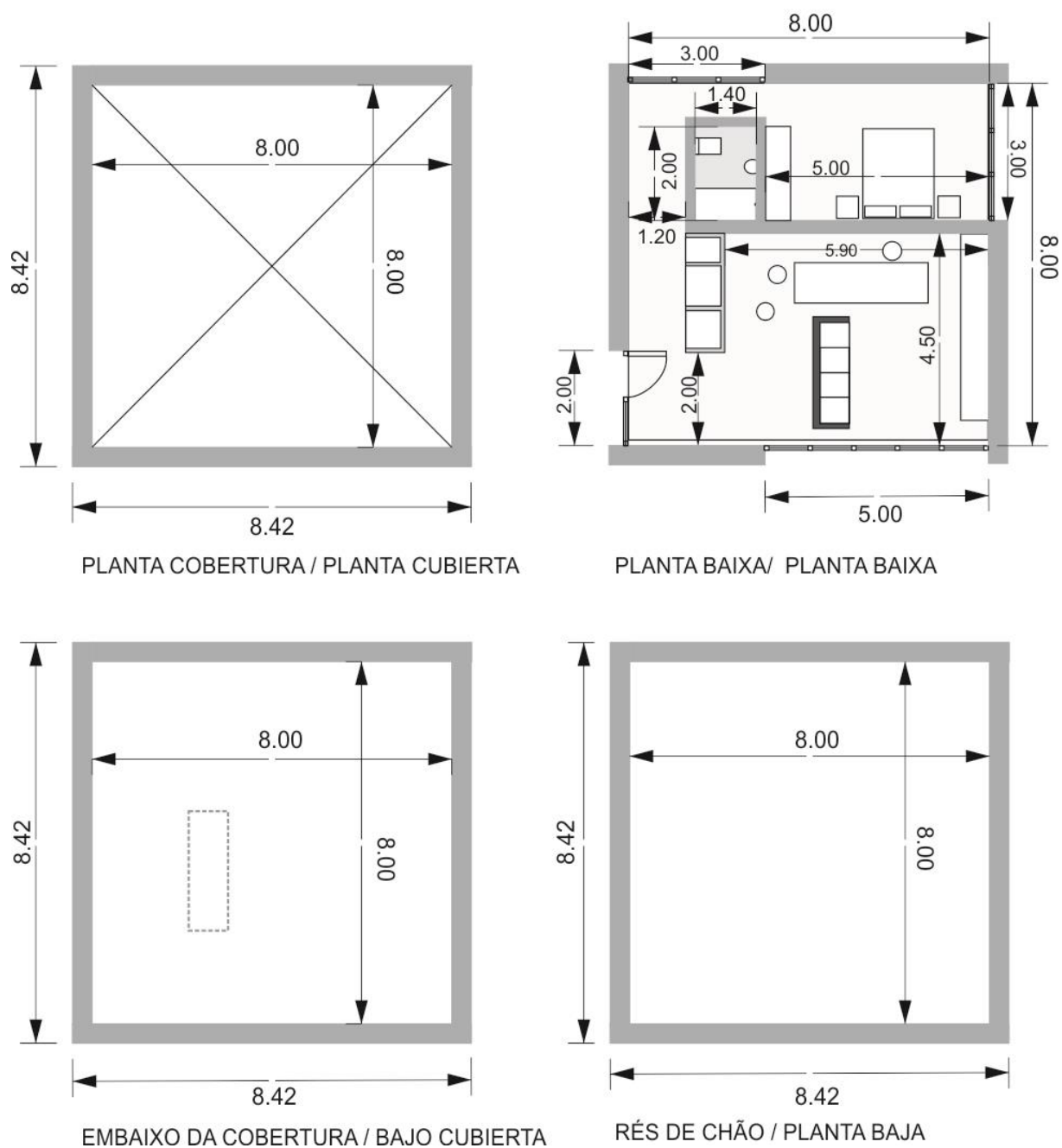


Figura 27 - Plantas das secções / Planta y Sección – Modelo utilizado na simulação computacional

Elevações / Alzado

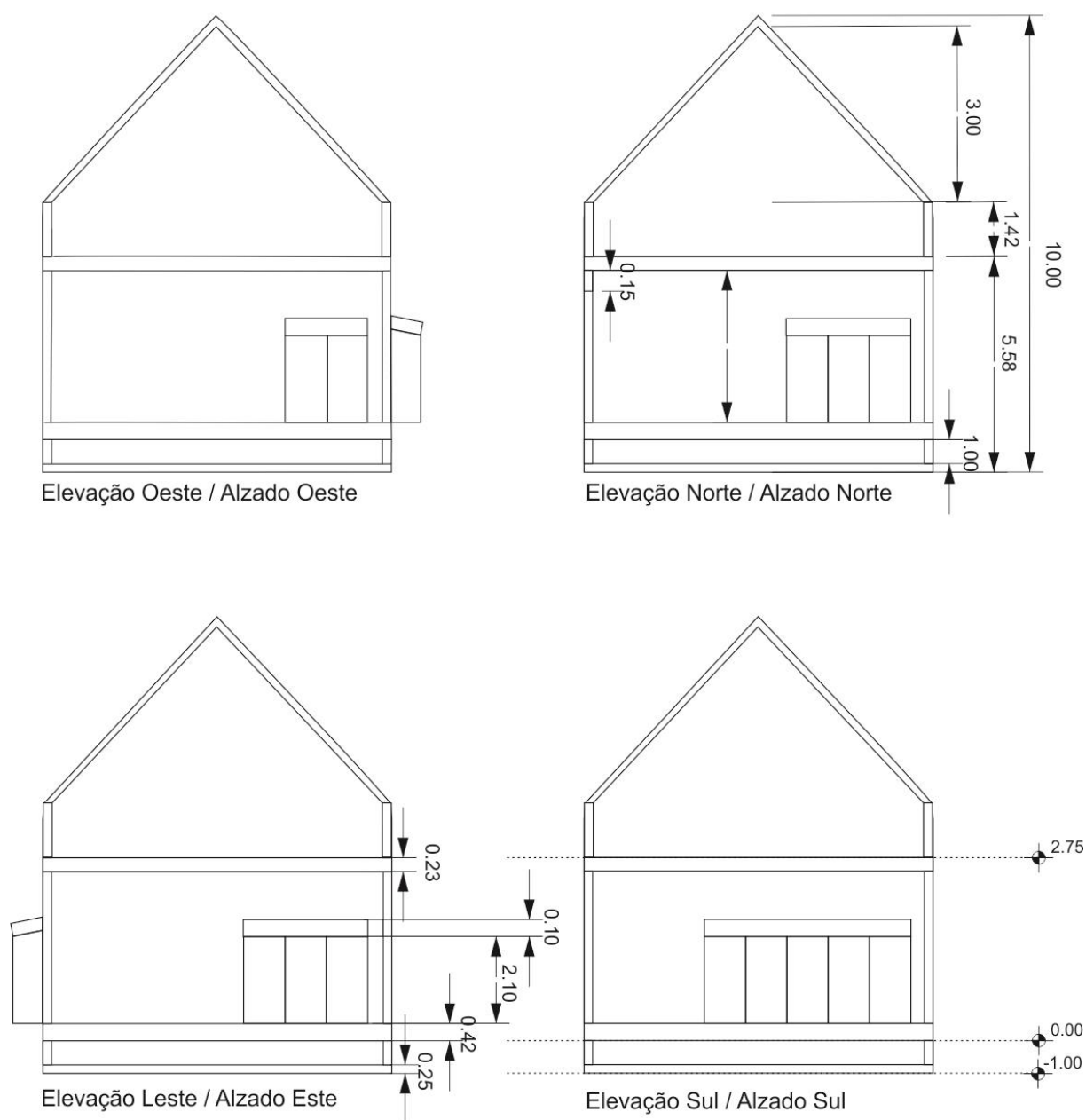


Figura 28 - Elevações / Alzado – Modelo utilizado na simulação computacional

5.4.3. Espaço Útil - Habitável

Um correto levantamento dimensional é essencial para a avaliação do desempenho energético. Essa avaliação está diretamente relacionada com a quantificação das perdas e ganhos térmicos pela envolvente, opaca e envidraçada. A tabela abaixo é requisito para qualificação dimensional

no DB-HE, caracterizando os espaços como habitável, os que possuem ventilação, ou que tenham equipamentos de climatização para o conforto das pessoas.

Tabela 8 - Dimensionamento Construtivo (IFC Builder)

Planta	Tipo de Espaço	Superfície não habitável (m²)	Superfície útil condicionada (m²)	Altura(m)	Volume(m³)
P01	Não Habitável - ENU	64	-	1	64
P02	Habitável – Espaço Útil	-	64	2.52	161.28
P03	Não Habitável - ENU	64	-	4	85.33
Total		128	64		310.61

5.5. Nomenclatura dos objetos construtivos

Com a utilização da “folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios” de acordo com o REH (Decreto-Lei nº 118/2013 - Versão V3.15 de 2020), das classes dos objetos/elementos construtivos BIM (IFC4 2021) e do *Guía de aplicación DB-HE 2019 EJEMPLO I*, desenvolvemos a tabela abaixo como referência das nomeclaturas utilizadas nos *softwares* BEM que usamos no projeto descrito, fazendo referência comum, tanto nos *inputs* quanto nos *outputs*.

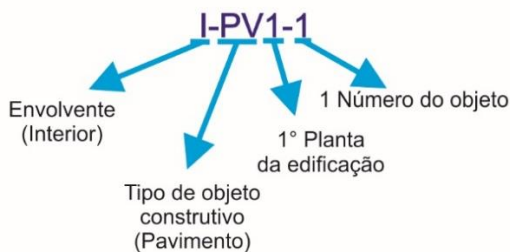
Tabela 9 - Nomenclaturas de referência dos objetos/elementos construtivos BIM nos *softwares* BEM

Tipo objeto construtivo	Abreviação	Planta	Separador	Orientação (Sigla orientação cardinal)	Numeração do objeto	Exemplo	Observação
Envolvente exterior							
Paredes	E-PD	Numeração Crescente	-	Aplicável	Numeração Crescente	E-PD01-S1	Soluções e pontes térmicas planas
Pavimentos	E-PV			Não Aplicável		E-PV01-1	Soluções e pontes térmicas planas
Coberturas	E-CO			Aplicável		E-CO01-S1	Soluções e pontes térmicas planas
Vãos Envidraçados	E-VE			Aplicável		E-VE01-S1	Exteriores
Vãos Opacos	E-VO			Aplicável		E-VO01-S1	Exteriores
Envolvente em contato com o solo							

Pavimentos Térreos	S-PVT	Numera ção Crescen te	-	Não Aplicáv el	Numeraç ão Crescent e	S- PVT00-1	Soluções e pontes térmicas planas
Pavimentos Enterrados	S-PVE			Não Aplicáv el		S- PVE00-1	Soluções e pontes térmicas planas
Paredes Enterradas	S-PDE			Aplicáv el		S- PDE00- S1	Soluções e pontes térmicas planas
Pontes Térmicas Lineares	S-PTL			Aplicáv el		S- PTL00- S1	Exteriores
Envolvente Interior							
Paredes	I-PD	Numera ção Crescen te	-	Aplicáv el	Numeraç ão Crescent e	I-PD01- S1	Soluções e pontes térmicas planas
Pavimentos	I-PV			Não Aplicáv el		I-PV01-1	Soluções e pontes térmicas planas
Coberturas	I-CO			Aplicáv el		I-CO01- S1	Soluções e pontes térmicas planas
Vãos Envidraçados	I-VE			Aplicáv el		I-VE01- S1	Interiores
Vãos opacos	I-VO			Aplicáv el		I-VO01- S1	Interiores
Pontes Térmicas Lineares	I-PTL			Aplicáv el		I-PTL01- S1	Interiores

INFOGRAMA EXEMPLO DE NOMECLATURA

Nomeclatura da
Envolvente Interior do
Pavimentos na 01ª
planta, sendo o 1
elemento a ser
incluído no modelo
BIM



Nomeclatura da
Envolvente Exterior da
Parede que está na
02ª planta, de
orientação sul, sendo
o 2 elemento a ser
incluído no modelo
BIM

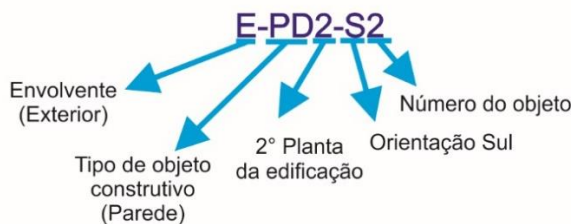


Figura 29 – Infograma: exemplo da nomenclatura utilizada no BEM

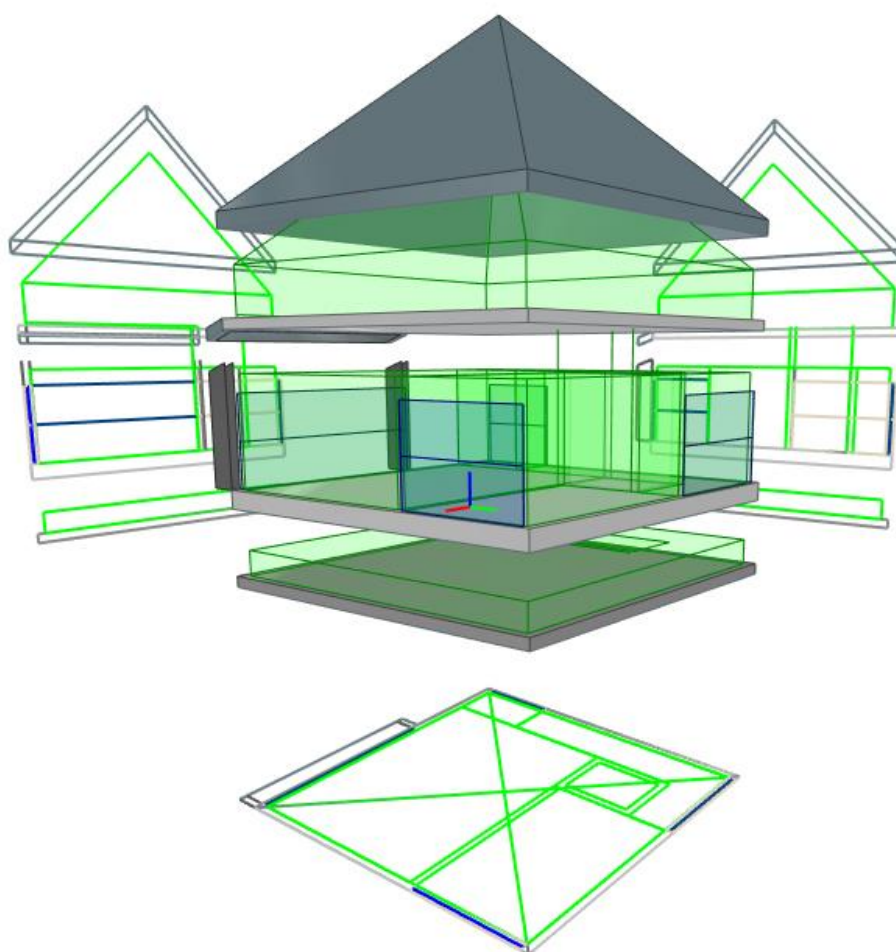


Figura 30 - Visão 3D das plantas e espaços da edificação usada na simulação computacional (BIMVision, 2021)

5.6. Definição Construtiva

Os materiais usados têm como parâmetro os contidos na biblioteca LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e o modelo construtivo da ALECO, como demonstrado no “Anexo VI – Detalhamento do sistema *light steel frame construction* com isolamento térmico”. Seguimos a premissa que as pontes térmicas do LSF em paredes com muito isolamento são muito pequenas, e podem ser negligenciadas (Roque e Santos, 2017). Os dados informados nas tabelas foram extraídos dos anexos que fazem parte dessa dissertação e foram gerados na simulação descrita no “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPETHERM HE PLUS”, pela versão “2021.e” dos *softwares* usados como simuladores de análise regulamentar, sobre eficiência energética da edificação, dos países Portugal e Espanha.

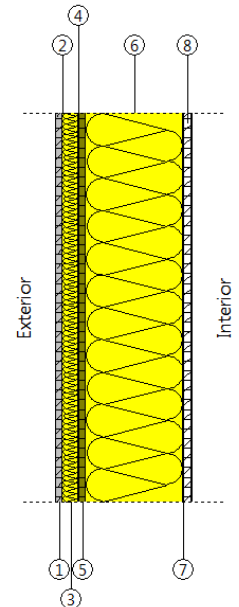
As informações foram verificadas através da folha de cálculo do Excel, encontrando-se muitas vezes valores próximos dos informados pelos *softwares*, tendo em vista que utilizamos 4 (quatro) casas decimais em nossos cálculos. O Cypetherm apresenta arredondamentos em virtude das casas decimais utilizadas, por isso optamos por deixar os resultados apresentados

pelos *softwares*, porque são esses os dados que os algoritmos dos programas irão usar para realizar os cálculos regulamentares, além de não possibilitarem as alterações de alguns parâmetros manualmente.

Os cálculos de resistência térmica possuem igual formulações em ambos os países, sendo obtido no Despacho n.º 15793-K/2013, item “2.1. Elementos opacos”, para Portugal, e no "DA DB-HE / 1 - Cálculo de parámetros característicos de la envolvente", no item “2.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior” e os valores das resistências térmicas superficiais, R_{se} e R_{si} nas tabelas 1 dos referidos documentos.

5.6.1. Parede exterior E-PD1-1

Tabela 10 - Parede exterior E-PD1-1

 Figura 31 - Parede exterior E-PD1-1 (Cypetherm REH 2021)	Camada	Espessura (m)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².°C/W)	Densidade (kg/m³)	Massa (kg/m²)
	1 - Reboco com textura e pintura	0.0100	0.5500	0.0182	1200	12
	2 - Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.0010	0.3000	0.0033	1450	1.45
	3 - Poliestireno expandido (EPS)	0.0240	0.0420	0.5714	14	0.336
	4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.0010	0.2300	0.0043	1100	1.1
	5 - Painéis de lamelas longas (OSB)	0.0110	0.1300	0.0846	650	7.15
	6 - Lã de rocha (MW) +LSF	0.1500	0.0400	3.7500	50	7.5
	7 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.0010	0.2300	0.0043	1100	1.1
	8 - Placa de gesso cartonado	0.0120	0.2500	0.0480	1000	12
	Total:	0.21	-			42.636
Fluxo horizontal $R_{se}=0.04$ $R_{si} = 0.13$ - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.2149 W/(m².°C)						
Valores mostrado no Cypetherm - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.21 W/(m².°C)						
Capacidade térmica: 17028.30 J/m².°C						
Coeficiente de Absorção Médio = 0.50						
Tipo de Solução: Parede simples com isolamento térmico pelo Interior						

5.6.2. Cobertura E-CO2-1

Tabela 11 - Cobertura E-CO2-1

Camada	Espessura (m)	Densida de (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)
1 - Telha de Argila Cozida	0.0140	0.6500	0.0215	1500	21.00
2 - Câmara de Ar	0.0300	0.1770	0.1695	1	0.03
3 - Poliestireno extrudido (XPS) + LSF	0.1500	0.0370	4.0541	40	6.00
4 - Membr. flexíveis impregnadas com betume	0.0010	0.2300	0.0043	1100	1.10
5 - Poliestireno expandido (EPS)	0.0400	0.0420	0.9524	14	0.56
6 - Placa de gesso cartonado	0.0150	0.2500	0.0600	1000	15.00
Total:	0.250	-			43.69
Fluxo Ascendente - R _{se} =0.04 R _{si} = 0.10 - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.1851 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Ascendente - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.18 W/(m².°C)					
Fluxo Descendente - R _{se} =0.04 R _{si} = 0.17 - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.1828 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Descendente - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.18 W/(m².°C)					
Capacidade térmica: 24403.34 J/m².°C					
Coeficiente de Absorção Médio = 0.50					
Tipo de Solução: Cobertura Horizontal com isolamento térmico pelo interior					

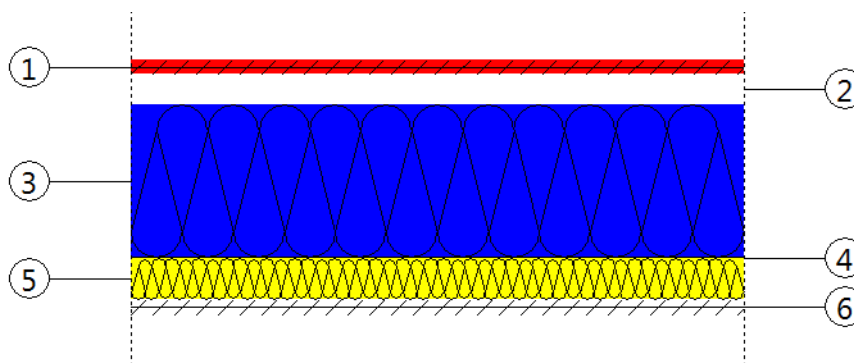


Figura 32 - Cobertura E-CO2-1 (Cypetherm REH 2021)

5.6.3. Pavimento Térreo S-PVE0-1

As informações dos coeficientes térmicos superficiais de elementos em contato com solo são obtidas em Portugal através do Despacho n.º 15793-K/2013, nos valores das tabelas 3 a 6. Na Espanha, através do "DA DB-HE / 1 - Cálculo de parámetros característicos de la envolvente", nos valores das tabelas 03 a 09. São calculados por fórmulas distintas, com valores tabelares diferentes, porém com bases físicas bem similares, levando em consideração a profundidade enterrada do elemento, sua resistência térmica, a localização do isolamento, entre outros fatores.

Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica superficial de elementos em contato com solo de Portugal e da Espanha

REH		DB-HE		Unidade
Descrição	Sigla	Descrição	Sigla	
Pavimento	U_{bf}	<i>Suelos en contacto con el terreno</i>	U_s	[W/m ² ·°C]
Paredes enterradas	U_{bw}	<i>Muros en contacto con el terreno</i>	U_T	[W/m ² ·°C]
Dimensão característica do pavimento	B'	<i>Longitud característica</i>	B'	-
Área interior útil de pavimento, medida pelo interior	A_p	<i>Área de la solera</i>	A	[m ²]
Perímetro exposto	P	<i>Longitud del perímetro expuesto de la solera</i>	P	[m]
Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências térmicas superficiais	R_f	<i>resistencia térmica del aislante</i>	R_a	[m ² ·°C/W]
-	-	<i>Cerramiento en contacto con el exterior pero considerando las resistencias superficiales como interiores</i>	R_m	[W/m ² ·K]
Largura ou profundidade do isolamento	D ou z	<i>Ancho de la banda de aislamiento perimétrico</i>	D	[m]
-	-	<i>Transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable</i>	U_p	[m ² ·K/ W]
-	-	<i>Coeficiente de reducción de temperatura</i>	b	-

Observação: Na Espanha se usa a unidade térmica Kelvin (K), no lugar de Celsius (°C), assim se troca [W/m²·°C] pelo [W/m²·K], por exemplo, pois para a conversão não há fator de passo.

Tabela 13 - Piso em contato com o solo S-PVE0-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)
1 - Poliestireno expan.(EPS)	0.0500	0.0420	1.1905	14	0.70
2 - Betão normal	0.0800	1.6500	0.0485	2300	184.00
3 - Lamina de PVC	0.0010	0.1400	0.0071	1200	1.20
4 - Areia e Brita	0.1190	2.0000	0.0595	1700	202.30
Total:	0.250	-			388.20
Resistência térmica: 1.3056 m².°C/W					
Valores mostrado no Cypetherm - Resistência térmica: 1.31 m².°C/W					
Tipo: Laje Térrea					
Condutibilidade térmica do terreno = 2.00 W/(m.K)					
Tipo de Solução: Pavimento em contato com o solo com isolamento térmico					

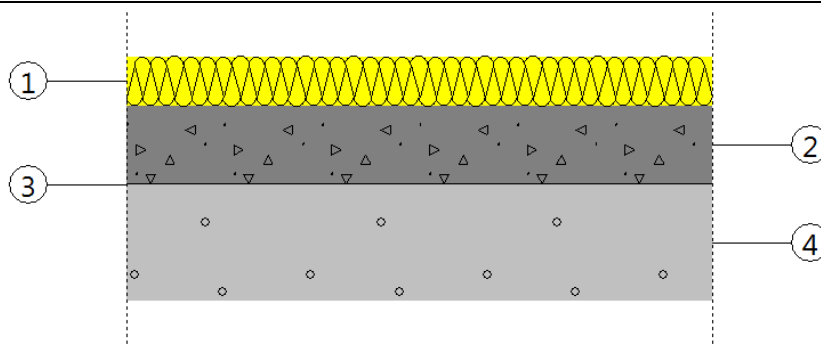


Figura 33 - Piso em contato com o solo S-PVE0-1 (Cypetherm REH 2021)

A característica descrita em “Tipo de Solução”, é uma opção do Cypetherm REH para definir o valor do coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno (U_{bf}), item “2.2. Elementos em contacto com o solo”, do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013.

5.6.4. Parede Enterrada S-PDE1-0

A formulação do coeficiente térmico superficial das paredes enterradas, são obtidos no Despacho n.º 15793-K/2013, e no "DA DB-HE / 1 - Cálculo de parâmetros característicos de la envolvente". Quando se tem $R_{se} = R_{si}$, trata-se de um elemento contrutivo em contato com um “espaço não útil” (ENU), termo de Portugal, e “no Habitable”, termo na Espanha.

Tabela 14 - Parede Enterrada S-PDE1-0

Figura 34 - Parede Enterrada S-PDE1-0 (Cypetherm REH 2021)

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)			
1 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.0010	0.2300	0.0043	1100	1.10			
2 - Betão isolante resistente com areia do rio	0.2090	0.7000	0.2986	1200	250.80			
3 - Membrana flexíveis impregnadas com betume	0.0010	0.2300	0.0043	1100	1.10			
Total:	0.21	-			253.00			
Resistência térmica: 0.3073 m².°C/W								
Valores mostrado no Cypetherm - Resistência térmica: 0.31 m².°C/W								
Condutibilidade térmica do terreno = 2.00 W/(m.K)								
Tipo de Solução: Parede simples sem isolamento térmico								

5.6.5. Parede interior I-PD1-2

Tabela 15 - Parede interior I-PD1-2

Figura 35 - Parede interior I-PD1-2 (Cypetherm REH 2021)

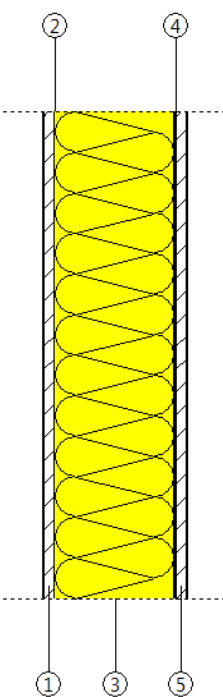
Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)			
1 - Placa de gesso cartonado	0.014	1000	0.250	0.0560	14.00			
2 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100	0.230	0.0043	1.10			
3 - Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50	0.040	3.7500	7.50			
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100	0.230	0.0043	1.10			
5 - Placa de gesso cartonado	0.014	1000	0.130	0.1077	14.00			
6 - Argamassa e reboco de cal e areia	0.010	1600	0.800	0.0125	16.00			
7 - Material cerâmico	0.010	1500	0.600	0.0167	15.00			
Total:	0.20	-			68.70			
R _{se} = R _{si} = 0.10 - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.2409 W/(m².°C)								
Valores mostrado no Cypetherm - Resistência térmica: 0.24 m².°C/W								
Capacidade térmica: 48065.48 J/m².°C								
Coeficiente de Absorção Médio = 0.50								

Tipo de Solução: Parede simples com isolamento térmico pelo Interior

5.6.6. Parede interior I-PD1-1

Tabela 16 - Parede interior I-PD1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)
1 - Placa de gesso cartonado	0.014	1100	0.2500	0.0560	14.00
2 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	50	0.2300	0.0043	1.10
3 - Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	1100	0.0400	3.7500	7.50
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1000	0.2300	0.0043	1.10
5 - Placa de gesso cartonado	0.014	1100	0.2500	0.0560	14.00
Total:	0.20	-			37.70
R _{se} = R _{si} = 0.10 - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.2457 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.24 W/(m².°C)					

 Figura 36 - Parede interior I-PD1-1 (Cypetherm REH 2021)	Capacidade térmica: 16880.37 J/m ² .°C
	Coefficiente de Absorção Médio = 0.50
	Tipo de Solução: Parede simples com isolamento térmico pelo Interior

5.6.7. Pavimentos entre pisos I-PV1-1

Tabela 17 - Pavimentos entre pisos I-PV1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m ² .°C/W)	Massa (kg/m ²)
1 - Piso Terminado	0.01	1600	0.800	0.0125	16.0
2 - Nivelador	0.01	1200	0.550	0.0182	12.0
3 - Contra Piso	0.04	2400	2.000	0.0200	96.0
4 - Poliestireno expandido (EPS)	0.06	20	0.042	1.4286	1.2
5 - Piso de Fundação com Armadura	0.30	1500	0.850	0.3529	450
Total:	0.42	-	-	-	575.2
Fluxo Ascendente - $R_{se} = R_{si} = 0.10$ - Coefficiente de transmissão térmica (U): 0.4921 W/(m².°C)					
Fluxo Descendente - $R_{se} = R_{si} = 0.17$ - Coefficiente de transmissão térmica (U): 0.4604 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Ascendente - Coefficiente de transmissão térmica (U): 0.49 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Descendente - Coefficiente de transmissão térmica (U): 0.46 W/(m².°C)					
Capacidade térmica: 102549.68 J/m ² .°C					
Coefficiente de absorção Médio = 0.50					
Tipo de Solução: Pavimento com isolamento térmico pelo interior					
Tipo de Solução: Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior					

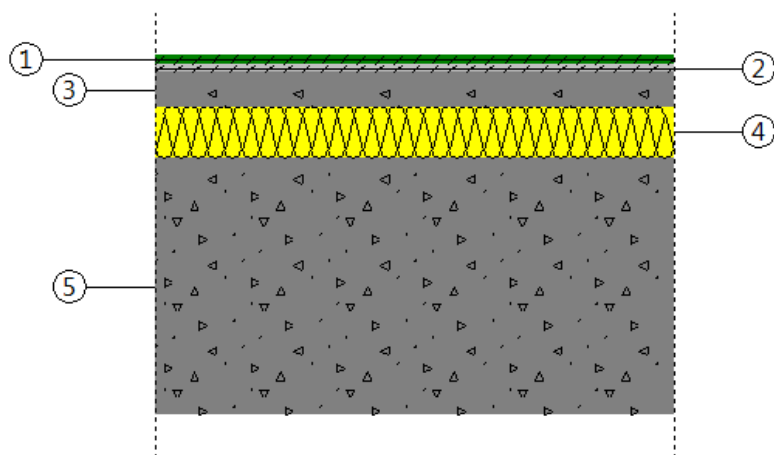


Figura 37 - Pavimentos entre pisos I-PV1-1 (Cypetherm REH)

5.6.8. Pavimento entre pisos I-PV2-1

Tabela 18 - Pavimento entre pisos I-PV2-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Massa (kg/m²)
Placa de gesso cartonado	0.015	1000	0.25	0.0600	15.00
Lã de rocha (MW)	0.025	50	0.04	0.6250	1.25
OSB multilaminado	0.025	600	0.14	0.1786	15.00
Neopreno (policloropreno)	0.001	1240	0.23	0.0043	1.24
Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50	0.04	3.7500	7.50
Painéis de lamelas longas (OSB)	0.014	650	0.13	0.1077	9.10
Total:	0.23	-	-	-	49.09
Fluxo Ascendente - $R_{se} = R_{si} = 0.10$ - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.2030 W/(m².°C)					
Fluxo Descendente - $R_{se} = R_{si} = 0.17$ - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.1974 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Ascendente - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.20 W/(m².°C)					
Valores mostrado no Cypetherm - Fluxo Descendente - Coeficiente de transmissão térmica (U): 0.20 W/(m².°C)					
Capacidade térmica: 25446.43 J/m².°C					
Coeficiente de absorção Médio = 0.60					
Tipo de Solução: Pavimento com isolamento térmico pelo interior					
Tipo de Solução: Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior					

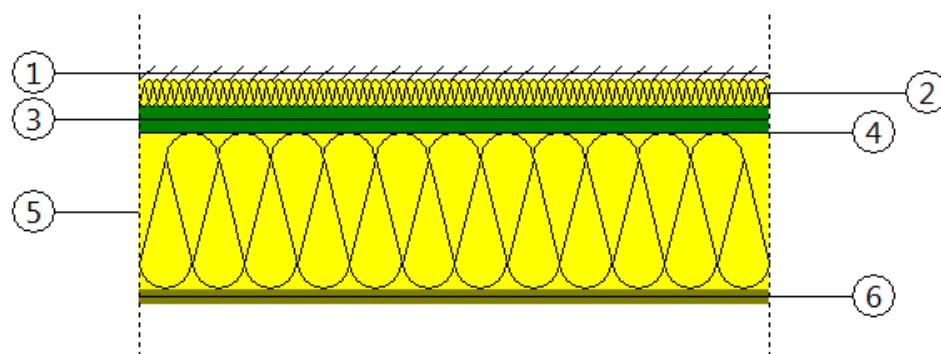


Figura 38 - Pavimento entre pisos I-PV2-1 (Cypetherm REH)

5.7. Elementos da Envolvente Envidraçada

São usadas portas de correr envidraçadas, da Iglo Energy, da empresa Veneo. Suas descrições estão detalhas no “Anexo VII – *Certificate of the product characteristic - IGLO ENERGY Classic PVC*”.

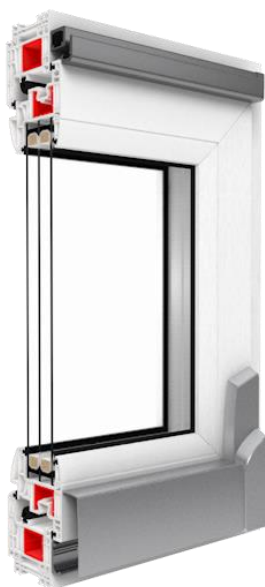


Figura 39 - Vão envidraçado - Portas de correr modelo Iglo Energy PSK (veneo.es)

Os detalhes são encontrados no “Anexo VIII - *Tilt and slide balcony doors Iglo Energy*”.

5.7.1. Detalhe Construtivo – Ligação Superior - Caixa de Estore



Figura 40 - Caixa de Estore (represtora.com)

Tabela 19 - Características Iglo Energy Classic PSK

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (U_g)	m^2K	0.3
Transmitância térmica da janela (U_w)	m^2K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (U_f)	m^2K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	2 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

O coeficiente U_w expressa as perdas de calor sofridas pela “Janela”, ou seja, quanto calor “escapa” pela janela. Portanto, quanto menor o valor da transmitância térmica, maior o isolamento térmico que a janela proporciona. Além disso, o coeficiente de transmitância térmica do vidro (U_g) e a eficiência energética da moldura/perfil (U_f) – determinam o valor de U_w , o que corresponde a transmitância térmica total da janela. (VENEIO, 2021)

No “Anexo VII – Certificate of the product characteristic - IGLO ENERGY Classic EN”, está a certificação correspondente as características térmicas do produto.

5.8. Pontes Térmicas

Utilizamos o *software* Cypetherm Bridges para a determinação da transmitância térmica resultante das pontes térmicas lineares entre os paines compostos com LSF. O *software* realizou o cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional da transferência de calor, contemplando a norma EN ISO 10211 (CYPETHERM BRIDGES, 2020). Os resultados são descritos na tabela abaixo, e podem ser encontrados no “Anexo II – Pontes térmicas dos elementos em LSF”.

Tabela 20 - Pontes térmicas lineares usadas no modelo em LSF

Representação Iconográfica	Nomenclatura	Referência	Descrição da Ligação	U [W/m.°C]
	S-PVE0-1-S-PDE1-0	GF7 - ISO 14683	Fachada com os pavimentos térreos	0.100
	E-CO2-1-E-PD1-1	ISO 10211	Fachada com Cobertura	0.040
	I-PV1-1-E-PD1-1-S-PDE1-0	GF15 - ISO 14683	Fachada com pavimento de nível Inferior	0.10
	I-PV1-1-S-PDE1-0-E-PD1-1	ISO 10211	Fachada com pavimento de nível inferior acima	0.123
	I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	ISO 10211	Fachada com pavimento de nível intermédio superior	0.024
	I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	B2 - ISO 14683	Fachada com varanda	0.50
	I-PV2-1-E-PD2-1-E-PD1-1	B4 - ISO 14683	Fachada com varanda	0.40
	S-PDE1-0-S-PDE1-0	GF15 - ISO 14683	Duas paredes verticais em ângulo saliente	0.10
	E-PD1-1-E-PD1-1	ISO 10211	Encontro de fachadas	0.025
	E-PD1-1-E-PD1-1	B4 - ISO 14683	Fachada com varanda	0.040
	Inf - E-VE1-L1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	0.50
	Sup - E-VE1-L1-E-PD1-1	ISO 10211	Contato superior da Fachada com caixilharia.	0.50
	Lat - E-VE1-L1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais da caixilharia com a Fachada	0.50
	Inf - E-VE1-O1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	0.50
	Sup - E-VE1-O1-E-PD1-1	ISO 10211	Contato superior da Fachada com caixilharia	0.50

	Lat - E-VE1-O1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais da caixilharia com a Fachada	0.50
	Inf - E-VE1-S1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	0.50
	Sup - E-VE1-S1-E-PD1-1	ISO 10211	Contato superior da Fachada com caixilharia	0.50
	Lat - E-VE1-S1-E-PD1-1	ISO 10211	Laterais da caixilharia com a Fachada	0.50

5.9. Ventilação

Tanto em Portugal, como na Espanha, a taxa de renovação do ar é muito importante na avaliação energética, porém apresentam formas de cálculo e unidades físicas distintas.

Para Portugal, nos edifícios de habitação existem a obrigatoriedade de garantir um caudal de ar novo mínimo de 0,4 renovações por hora, significando este valor que em cada hora deverá ser renovado em 40% do volume em análise. A contabilização deste débito de ar é efetuada por intermédio de uma folha de cálculo, disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (GUIA SCE 1, 2020).

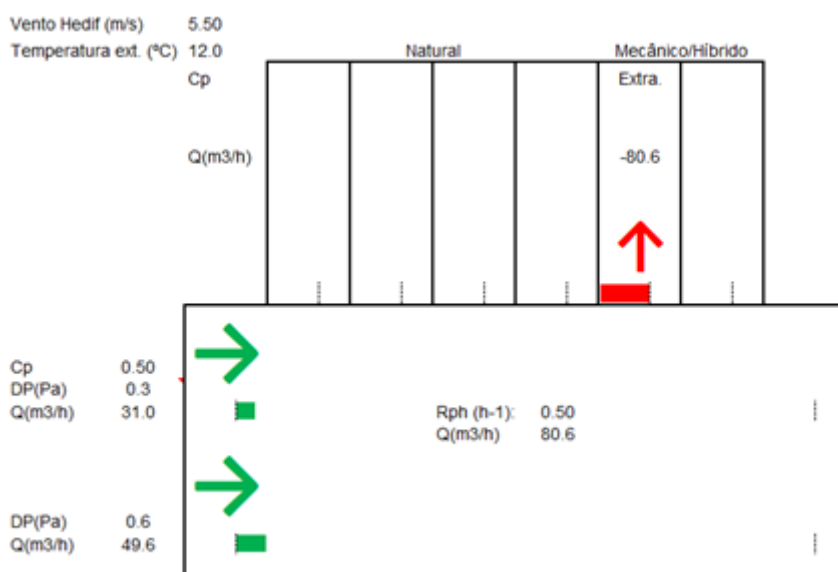


Figura 41 - Representação esquemática do funcionamento da ventilação (Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS)

As informações de ventilação foram extraídas do sistema em folha de cálculo, fornecida pela LNEC – “Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS” – e são usadas como referência para as verificações dos regulamentos de eficiência energéticas das edificações para ambos os países.

Tabela 21 - Enquadramento da ventilação do edifício

Tipo de edifício	Habitação novo	Área útil (m2):	64.0
Local (município)	Alcoutim	Pd (m):	2.52
Região	A	N.º de pisos da fração	1
Rugosidade	III	Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	30	Vento (u10REH: 5.5) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	1	Vol (m3):	161
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Texterior (°C)	12.0
Altura do edifício (H _{edif}) em m	3.75	Zref (m)	145
Altura da fração (H _{FA}) em m	3.75	Aenv/Au:	51%
		Proteção do edifício:	Desprotegido
		Zona da fachada:	Inferior

Tabela 22 - Permeabilidade ao ar da envolvente

Foi medido valor n50	Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:				
Área dos vãos (m2)	7.5	7.5	5	12.5
Classe de permeabilidade ao ar caixa (janelas/portas)	4	Sem classificação	Sem classificação	Sem classificação
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Perm. Baixa	Perm. Baixa	Perm. Baixa	Perm. Baixa

Tabela 23 - Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Sim
Escoamento de ar	Exaustão
Caudal nominal (m3/h)	80.64
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento	Não

Tabela 24 - Balanço de Energia - Edifício

R _{ph,i} (h ⁻¹) – Aquecimento	0.50
R _{ph,v} (h ⁻¹) - Arrefecimento	0.60
W _{vm} (kWh)	211.9

Tabela 25 - Balanço de Energia - Edifício de Referência

$R_{ph,i REF} (h^{-1})$	0.50

Tabela 26 - Caudal mínimo de ventilação

Rph estimada em condições nominais (h^{-1})	0.50
Requisito mínimo de ventilação (h^{-1})	0.40

Na Espanha utiliza-se o valor obtido da pressão diferencial na envolvente de 50 Pa(n_{50}), do volume interno de renovação pela troca de ar (DB-HE). O DB-HS – *Salubridad*, no item “3 - *Calidad del aire interior*”, caracteriza a exigência mínima de ar para as edificações na Espanha. Pode-se obter mais informações sobre os cálculos no “Anexo IX - Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS”.

Para maiores informações na Espanha, consultar os *Documentos Básico: HS 1 – Protección frente a la humedad, HS 2 – Recogida y evacuación de residuos, HS 3 – Calidad del aire interior, HS 4 – Suministro de agua, HS 5 – Evacuación de aguas e HS 6 – Protección frente al radón*.

5.10. Sistemas Técnicos

5.10.1.AQS

Para a energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos, utiliza-se em Portugal o “software SCE.ER (cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios relativos ao aproveitamento de Energia Renováveis)”, versão 1.7.0 de 07-01-2020, do Sistema de Certificação de Energética (SCE), que é fornecido pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), conforme obrigatoriedade do Despacho n.º 3156/2016, de 1 de março, e n.º 14985/2015, de 17 de dezembro. O SCE.ER oferece a metodologia oficial para os cálculos de aproveitamento das energias renováveis em edifícios de Portugal. Na simulação do sistema SCE.ER, obteve-se as necessidades de energia para A.Q.S. do REH, para um T1, localizado em Alcountin, Faro, a 30 metros de altitude. O valor informado pelo sistema foi de 1,188 kWh, os quais 89% (1,060 kWh) são satisfeitos por origem solar e 11% (0,128 kWh), satisfeitos pelo apoio. Com as informações obtidas, parametrizamos os sistemas BEM.

No projeto modelo, utilizamos a Bomba de Calor da empresa Vulcano, gama AquaSmart, que cumpre a UNE-EN 16147:2017 (*Heat pumps with electrically driven compressors - Testing, performance rating and requirements for marking of domestic hot water units*), a Directiva 2009/125/CE (ErP - *Energy Related Products*) e a Directiva 2005/32/CE (EuP- *Energy using Product - Ecodiseno*), com etiquetagem Energética A+.

Tabela 27 - Características da Bomba de Calor AquaSmart 270-3E C

Característica	Unidade	Valor
Coeficiente de Performance (COP)	-	3,77
Capacidade do tanque	L	260
Temperatura máxima de saída	°C	60/70
Alimentação elétrica	V	~230
Corrente elétrica	A	2,6 / 11,3
Potência nominal absorvida máx.	kW	0,6
Potência calorífica do aquecimento elétrico suplementar	kW	2,0
Potência nominal absorvida total máx. (com aquecimento elétrico suplementar)	kW	2,6

Tabela 28 - Fornecimento de Energia Solar Térmica para AQS

fornecimento de água quente	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
<i>necessidades (consumo de energia útil)</i>	110	98	106	101	101	92	91	91	90	99	101	108	1,188 kWh
energia de origem solar (útil)	79	81	98	93	96	91	91	91	90	92	82	77	1,060 kWh
energia com origem no apoio (útil)	31	17	8	8	5	1	0	0	0	7	20	31	128 kWh
perdas térmicas no armazenamento	46	51	74	79	88	96	112	117	97	77	54	44	936 kWh
consumos eléctricos parasíticos	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	81 kWh
energia final (calor de origem solar)	121	123	166	163	175	179	192	198	176	155	129	109	1,888 kWh

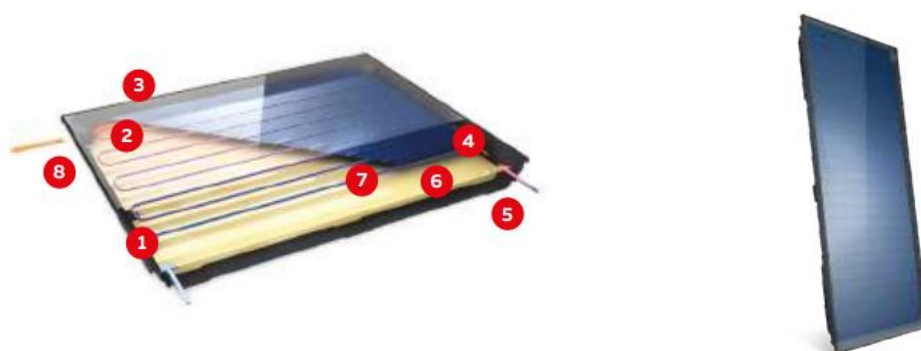


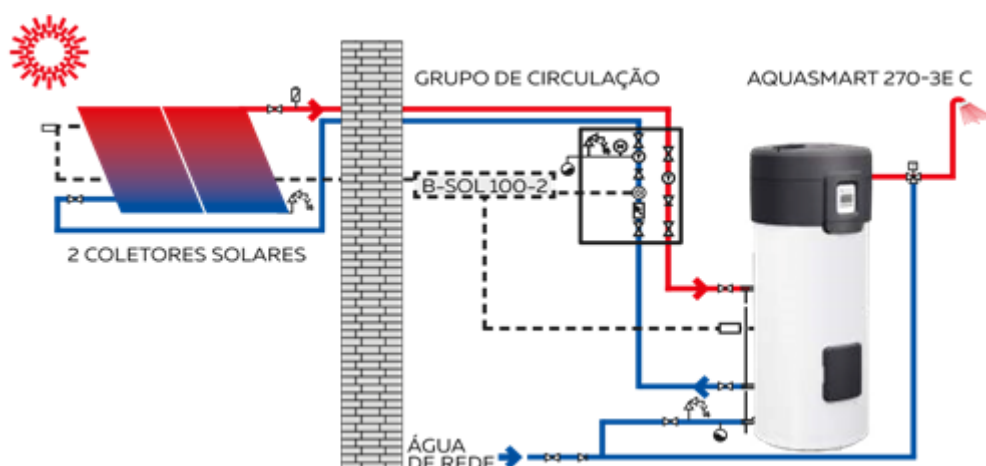
Figura 42 - Coletor Solar Vulcano da Gama PremiumSun 200L FKT-2S (VULCANO, 2021)

Legenda: 1 - Caixa em fibra de vidro (SMC); 2 - Vidro de segurança solar; 3 - Bainha para sensor de temperatura; 4 - Absorvedor altamente seletivo (PVD); 5 - Entrada de líquido solar frio; 6 - Isolamento; 7 - Dupla serpentina; 8 - Saída de líquido solar quente.

Tabela 29 - Características Técnicas Coletor Solar Vulcano da Gama PremiumSun 200L FKT-2S (VULCANO, 2021)

Características	Unidade	PremiumSun FKT-2S
Montagem	-	Vertical
Dimensões A x L x P	mm	2170 x 1175 x 87
Área total	m ²	2.55
Área útil abertura	m ²	2.426
Área do absorvedor	m ²	2.350
Volume do coletor	L	1.61
Peso em vazio	Kg	45
Pressão máxima trabalho	bar	10
Caudal nominal	l/h	50
Isolamento	mm	Lã mineral - 55 mm de espessura
Espessura de vidro	mm	3.2
Coletor	-	Altamente seletivo
Tratamento Coletor	-	PVD
Circuito hidráulico	-	Dupla serpentina
Material da caixa	-	Fibra de vidro numa só peça
Rendimento ótico - Fator de eficiência	-	0.794
Coef. perda linear	W/m ² K	3.863
Coef. perda secundário	W/m ² K	0.013

Na Figura abaixo vemos o esquema da instalação dos equipamentos solares, bomba de calor, painéis e grupo de circulação, fornecido pelo fabricante, com os equipamentos que utilizamos na simulação computacional no Cypetherm.

**Figura 43 - Sistema solar térmico com a combinação de Aquasmart 270-3E C e equipamento de apoio (VULCANO, 2021)**

Maiores informações sobre o sistema solar térmico, podem ser encontradas no relatório contido no “Anexo III - Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico”.

5.10.2. Aquecimento e Arrefecimento

O multi split é um aparelho de climatização que não demanda a instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento isoladamente. Sendo uma opção comum para moradias familiares.

Tabela 30 - Multi-Split (ar-ar) – Aquecimento e Arrefecimento (Toshiba, 2021)

UNIDADE INTERIOR			FTXG25JW
Potência de arrefecimento	Mín./Nom./Máx.	kW	1,3/2,5 /3,0
Potência de aquecimento	Mín./Nom./Máx.	kW	1,3/3,4 /4,5
Outros	Pdesign	kW	2,50
	SEER		6,53
	Consumo anual de energia	kWh	134
	Pdesign	kW	2,80
	SCOP		4,34
	Consumo anual de energia	kWh	903
Eficiência nominal (arref. a 35°/27° de carga nominal, aquec. a 7°/20° de carga nominal)	EER		4,46
	COP		4,36
	Consumo anual de energia	kWh	280
Ventilador - Caudal de ar	Arrefecimento	m³/min	8,8/6,8/4,7/3,8
	Aquecimento	m³/min	9,6/7,9

6. AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS

6.1 Preparação de dados para comprovação das exigências

A qualidade térmica da envolvente opaca e da envolvente envidraçada são de suma importância para a redução da demanda energética. Os valores utilizados nos *softwares* BEMs, descritos na simulação do “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPETHERM HE PLUS”, foram extraídos da Portaria n.º 379-A/2015 e da *Tabla 3.1.1.a - HE1 do DB-HE 2019* e não representam as melhores recomendações dos regulamentos citados, pois existem dados mais atuais que norteiam as características nZeb. Entretanto, apresentamos essas referências de transmitância térmica por serem as utilizadas nos algoritmos dos *softwares* Cypetherm, versão 2021, que utilizamos como base de cálculos dos regulamentos.

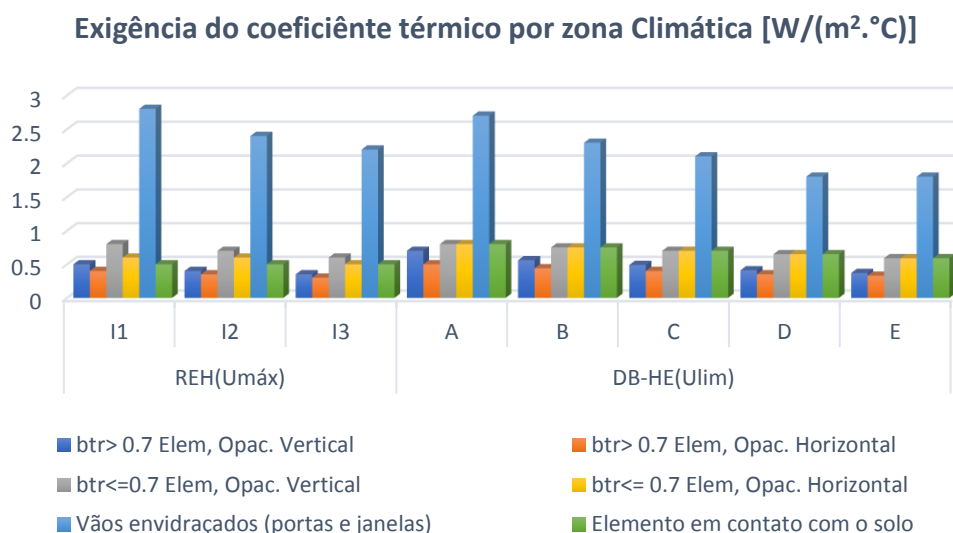
6.2 Requisitos de qualidade térmica da envolvente

Os requisitos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e envidraçada são definidos pelas zonas climáticas, utilizando-se as diferentes condições meteorológicas dos países, para permitir e garantir a implementação de soluções construtivas eficazes, promover a eficiência energética e as características nZeb. Dessa maneira se reduz as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento e, conseqüentemente, os consumos de energia, aumentando a salubridade e o conforto térmico.

Tabela 31 - Zoneamento Climáticas de Portugal e da Espanha

Zona Climática [W/(m².°C)]										
Requisitos da envolvente		REH(U _{máx})			DB-HE(U _{lim})					
		I1	I2	I3	Sigla	A	B	C	D	E
Envolvente em contato com o exterior ou com espaços não úteis, btr > 0,7	Elementos opacos verticais	0.50	0.40	0.35	U _M , U _S	0.70	0.56	0.49	0.41	0.37
	Elementos opacos horizontais	0.40	0.35	0.30	U _C	0.50	0.44	0.40	0.35	0.33
Envolvente em contato com outros edifícios ou espaços não úteis, btr ≤ 0,7	Elementos opacos verticais	0.80	0.70	0.60	U _{MD}	0.80	0.75	0.70	0.65	0.59
	Elementos opacos horizontais	0.60	0.60	0.50	U _T	0.80	0.75	0.70	0.65	0.59
Vãos envidraçados (portas e janelas) U _w ou U _{wdn}		2.80	2.40	2.20	U _H	2.70	2.30	2.10	1.80	1.80
Elemento em contato com o solo		0,50			U _T	0.80	0.75	0.70	0.65	0.59

Legenda: btr = Coeficiente de redução de perdas; U_w ou U_{wdn} = Transmitância total do vãos envidraçados; U_M = Muros en contacto con el aire exterior; U_S = Suelos en contacto con el aire exterior; U_C = Cubiertas en contacto con el aire exterior; U_T = Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno; U_{MD} = Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica; U_H = Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana).



É importante ressaltar que na análise das envolventes no gráfico “Exigência do coeficiente térmico por zona Climática”, quanto menor o valor, maior será a resistência térmica do elemento construtivo, para cumprir o requisito normativo.

6.2.1. Zoneamento Climático - REH e DB-HE

Conforme orienta Garrigós (2013), podemos realizar uma análise comparativa entre a EEE (Eficiência energética da Edificação/*Energy-Efficient Buildings* - EeB) da Europa. Para Portugal e Espanha, por compartilharem a “mesma localização geográfica” na EU, pode-se propor uma comparação entre esses países, de acordo com o tempo de funcionamento dos sistemas de climatização, utilizando os graus dias de Aquecimento (HDD - *Heating Degree Days*) e os graus dias de Arrefecimento (CDD - *Cooling Degree Days*).

De acordo com a agência Eurostat (2021), o HDD é um número estimado de dias que o sistema de aquecimento será usado em um edifício *If $T_m \leq 15^\circ\text{C}$ Then $[\text{HDD} = \sum_i (18^\circ\text{C} - T_m^i)]$ Else $[\text{HDD} = 0]$* . E o CDD é um número estimado de dias que o sistema de arrefecimento será usado em um edifício *If $T_m \geq 24^\circ\text{C}$ Then $[\text{CDD} = \sum_i (T_m^i - 21^\circ\text{C})]$ Else $[\text{CDD} = 0]$* . Onde T_m^i é a temperatura média do ar do dia i .

Existem outras formulações para os cálculos de CDD e HDD, utilizando outras bases de temperatura. Utilizando a mesma lógica de CDD e HDD, em base 18°C , proposta em 2008 para zonas climáticas europeias descritas por Laustsen temos:

Tabela 32 - Proposta para zonas climáticas europeias simplificada, com base em graus-dia de aquecimento e graus-dia de arrefecimento, base 18°C (Laustsen, 2008)

Clima	Heating	Cooling
<i>Cooling Based</i>	$2000 \leq \text{HDD } 18^\circ\text{C}$	$\text{CDD } 18^\circ\text{C} < 500$
<i>Heating based</i>	$2000 \leq \text{HDD } 18^\circ\text{C}$	$500 \leq \text{CDD } 18^\circ\text{C} < 1000$
<i>Combined Climate</i>	$2000 \leq \text{HDD } 18^\circ\text{C}$	$1000 \leq \text{CDD } 18^\circ\text{C}$
<i>Moderate Climate</i>	$\text{HDD } 18^\circ\text{C} < 2000$	$\text{CDD } 18^\circ\text{C} < 1000$
<i>Cooling Based</i>	$1000 \leq \text{HDD } 18^\circ\text{C} < 2000$	$1000 \leq \text{CDD } 18^\circ\text{C}$
<i>Hot climate</i>	$\text{HDD } 18^\circ\text{C} < 1000$	$1000 \leq \text{CDD } 18^\circ\text{C}$

A classificação HDD e CDD efetuada pelo EUROSTAT, permite que os países europeus sejam classificados de acordo com o número de dias que o sistema de climatização funcione (Garrigós, 2013), para assegurar a temperatura de conforto.

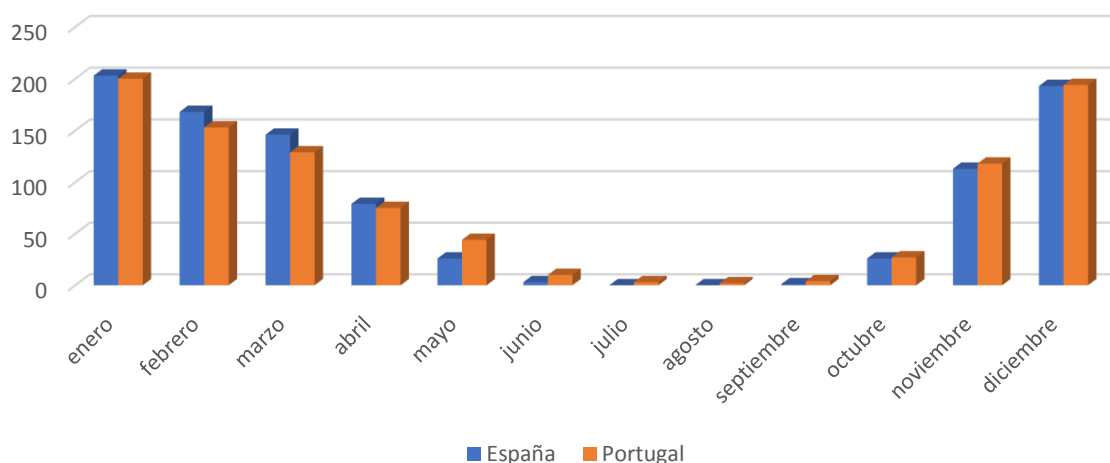
Os regulamentos de EEE dos países onde predomina a refrigeração, HDD 18°C <2000 e CDD 18°C <1000, como Chipre, Espanha, Grécia, Malta e Portugal, tentem a apresentar resultados similares e características nZeb parecidas, por possuírem elementos construtivos (vão dos envidraçados, transmitância, orientação solar, etc.), orientados para o conforto térmico da população de uma zona climática parecida (Garrigós, 2013).

Portugal e partes centrais da Califórnia apresentam o clima moderado (*Moderate Climate*), onde o verão e o inverno são amenos e a necessidade de aquecimento e arrefecimento é pouca (Laustsen, 2008), assim como parte da Espanha.

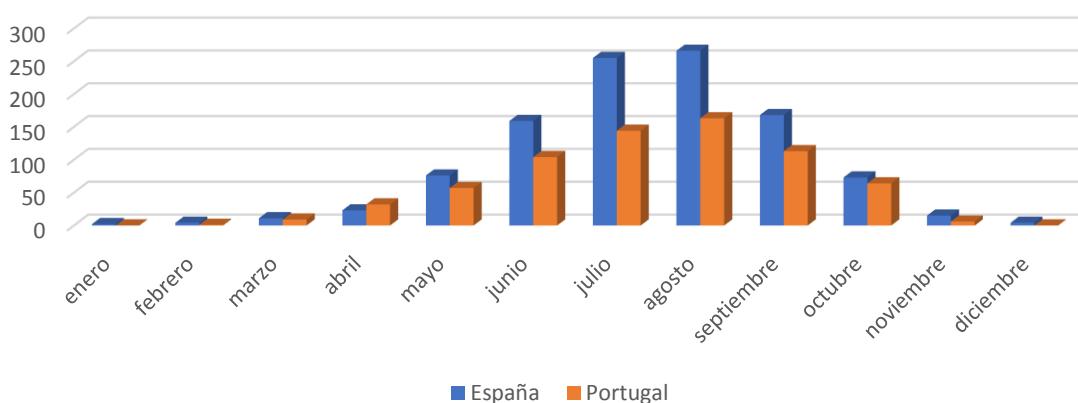
Tabela 33 - Valores CDD base 18°C e HDD base 18°C para Espanha e para Portugal (Garrigós, 2013)

Mes	CDD – 18°C		HDD – 18°C	
	España	Portugal	España	Portugal
enero	2	0	203	200
febrero	4	1	168	153
marzo	11	9	146	129
abril	23	32	79	75
mayo	76	57	26	44
junio	159	104	3	10
julio	255	144	0	3
agosto	266	163	0	2
septiembre	168	113	1	4
octubre	73	64	26	27
noviembre	15	6	113	118
diciembre	4	0	193	194
TOTAL	1056	693	958	959

Valores CDD base 18°C - Espanha e Portugal



Valores HDD base 18°C - Espanha e Portugal



Utilizando os cálculos baseados no CDD, que o Despacho n.º 15793-F/2013, do RCCTE realizou o zoneamento climático de Portugal, e com bases no CDD e no HDD que o DB-HE, “Anejo B - Zonas climáticas” realizou os cálculos que descrevem o zoneamento da Espanha. Extraindo dos respectivos documentos as características normativas para zoneamentos climáticos no REH para Alcoutim e do DB-HE para Sanlúcar de Guadiana na Espanha, temos:

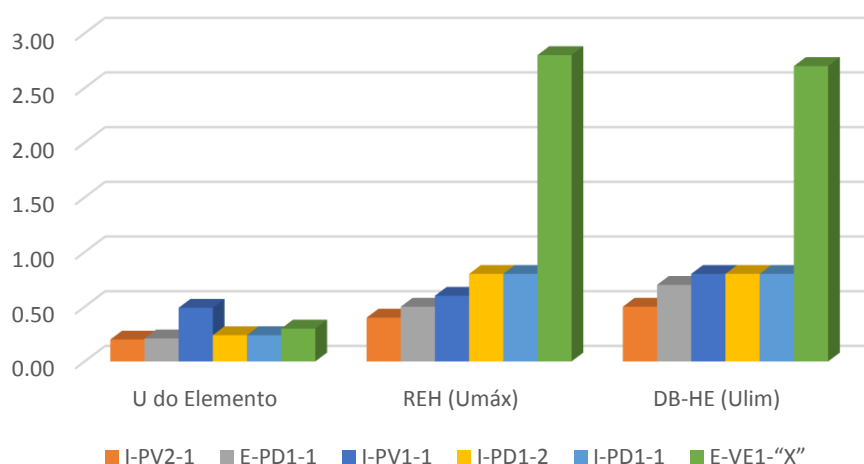
Tabela 34 - Zoneamento Climático no REH para Alcoutim e do DB-HE para Sanlúcar de Guadiana na Espanha

Critério Climático	REH – Alcoutim - Portugal		HE – Sanlúcar – Espanha	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Zona climática	I1	V3	A	4
Graus-dias	≤ 1300	-	-	-
Temperaturas	-	23.1°C > 22°C	-	-
SCV	-	-	-	SCV > 1, 38
SCI	-	-	0 < SCI ≤ 0, 23	-
Altura	Z ref= 30m		≤ 50m	

Legenda: SCV = Severidad Climática de Verano, SCI = Severidad Climática de Invierno; Z = Altura

Tabela 35 - Cumprimento das exigências da envolvente térmica

Cód. da Envolvente	Tipo de Contato	Descrição	U do Elemento [W/(m ² .°C)]	REH (U _{máx}) [W/(m ² .°C)]	DB-HE (U _{lim}) [W/(m ² .°C)]
P01 – Pavimento Enterrado – Não Habitável					
P02 - Rés de Chão – Habitável				I1V3	A4
I-PV1-1	Interior	Pavimento entre Pisos	0.49	0.50	0.80
I-PV2-1	Interior	Pavimento entre Pisos	0.20	0.50	0.80
E-PD1-1	Exterior	Parede Exterior	0.21	0.50	0.70
I-PD1-2	Interior	Parede Interior	0.24	0.80	0.80
I-PD1-1	Interior	Parede Interior	0.24	0.80	0.80
E-VE1-“X”	Exterior	Vão envidraçado	0.30	2.80	2.70
P03 - Cobertura - Não Habitável					

Valores dos coeficientes térmicos [W/(m².°C)]

Mais informações sobre os aspectos da EEE na Europa são encontradas no “Anexo IV - Panorama geral sobre eficiência energética na europa”, que foi desenvolvido como parte integrante dessa dissertação.

6.3 Flutuação de temperatura

Cada país trata a questão da troca de calor com o exterior de forma distinta. Em Portugal usa-se a “inércia térmica” e na Espanha a “*compacidad*” térmica, sendo efetuadas metodologias de cálculos diferentes com o mesmo objetivo: calcular a perda ou ganho de calor.

Segundo o Manual do Construção em Aço - *Steel Framing*: Arquitetura, da CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço): “O conceito de lei de massa não pode ser aplicado às construções com LSF. Os princípios de isolamento termo acústico em LSF baseiam-se em conceitos mais atuais de isolamento multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento afastadas, formando um espaço entre os mesmos, preenchido por material isolante

(*lã mineral*)”. Sendo assim, seriam necessários ensaios laboratoriais para maior comprovação dos resultados encontrados nos *softwares* BEM, sobre os regulamentos.

Tabela 36 - Comparação - Inércia Térmica (REH) e compactad (DB-HE)

REH	DB-HE
Considera os fatores para amortecer e retardar o efeito das flutuações da temperatura externa no interior	
Inércia Térmica	“Compactad”
Espessura e característica térmica dos materiais para reter a energia térmica	Área em contato com o exterior para limitar a transmissão térmica

6.3.1. REH – Inércia Térmica

A propriedade do edifício de amortecer e retardar o efeito das flutuações da temperatura externa no interior, denomina-se inércia térmica, que é o resultado da capacidade do edifício de conduzir e armazenar calor. A quantidade de calor armazenado depende da massa térmica dos materiais, enquanto a taxa de troca de calor com o meio ambiente, depende de sua condutividade térmica (Moret *et al*, 2009).

A definição da INÉRCIA pelo Guia SCE – Parâmetros de Cálculo da DGEG é: “A *inércia térmica (It)* interior de uma fração, traduz a capacidade que essa fração tem de reter o calor, por ação da capacidade de armazenamento e condução de calor de cada um dos elementos construtivos”. A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t (kg/m²), calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{Si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (1)$$

Equação 1 – Massa superficial útil

M_{Si} – Massa superficial útil do elemento i ; [kg/m²]

r – Factor de redução da massa superficial útil; (item 6.2 do 15793-K/2013)

S_i – Área da superfície interior do elemento i ; [m²]

A_p – Área interior útil de pavimento. [m²]

A metodologia de cálculo da inércia térmica está definida na “Secção 6 - Quantificação da inércia térmica, do Despacho n.º 15793-K/2013”. O cálculo é feito levando em consideração a massa superficial útil do elemento (M_{Si}) em [kg/m²], que é a capacidade útil de armazenamento e restituição de calor desse elemento, o fator de redução da massa (r_i), da área da superfície interior do elemento (S_i) em m², e da área útil de pavimento útil (A_p) em m². M_{Si} depende do posicionamento do isolamento térmico (interior, exterior ou intermédio) e da localização do elemento na fração em análise (GUIA SCE 1, 2020).

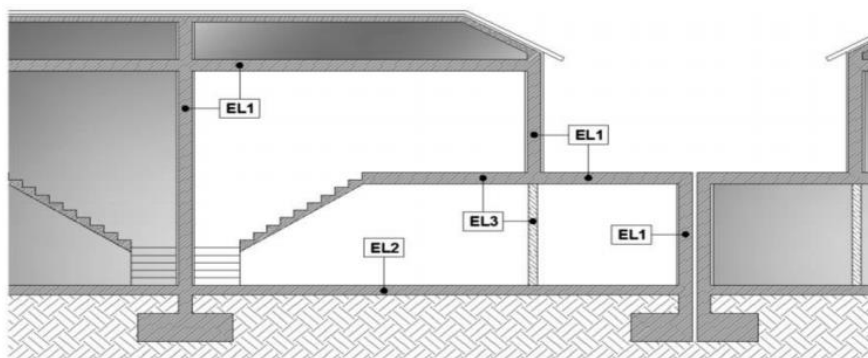


Figura 44 - Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior (15793-K/2013)

Onde, dos casos genéricos de elementos construtivos, distinguem os seguintes tipos de elementos (15793-K/2013):

- EL1 - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 - Elementos em contacto com o solo;
- EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento)''.

O cálculo da inércia térmica, realizado pelo Cypetherm REH, encontra-se descrito no “Anexo XIII - (REH) Capacidade térmica”, que conceitua a classe de Inércia Térmica, como MÉDIA. Porém estão errados, pois não segue a metodologia do Despacho 15793-K/2013.

Tabela 37 - Composição para Inércia térmica do modelo analisado

Tipos de elementos	Camada	(m)	Densidade (kg/m³)	M _{Si} (kg/m²)	S _i (m²)	r	Total
EL1	Parede exterior E-PD1-1						
	Reboco com textura e pintura	0.0100	1200	12.00			
	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.0010	1450	1.45			
			Msi Total:	13.45	61.58	0	0
	Pavimentos entre pisos I-PV1-1						
	Piso Terminado	0.0100	1600	16.00			
	Nivelador	0.0100	1200	12.00			
	Contra Piso	0.0400	2400	96.00			
			Msi Total:	124.00	61.58	0	0
	Pavimento entre pisos I-PV2-1						
	Placa de gesso cartonado	0.0150	1000	15.00			
			Msi Total:	15.00	2.8	0	0
	Parede interior I-PD1-2						

EL3	Placa de gesso cartonado	0.0140	1000	14.00			
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.0010	1100	1.10			
			Msi Total:	1.10	2.8	0	0
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100	1.10			
	Placa de gesso cartonado	0.0140	1000	14.00			
	Argamassa e reboco de cal e areia	0.0100	1600	16.00			
	Material cerâmico	0.0100	1500	15.00			
			Msi Total:	46.10	2.8	0	0
	Parede interior I-PD1-1						
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100	1.10			
	Placa de gesso cartonado	0.0140	1100	15.40			
			Msi Total:	15.40	26.55	0	0
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100	1.10			
	Placa de gesso cartonado	0.0140	1000	14.00			
			Msi Total:	14.00	26.55	0	0

$$A_p = 61.58 \text{ m}^2$$

Efetuada os cálculos de acordo com Despacho e sendo a classe de inércia térmica, $I_t < 150 \text{ kg/m}^2$, determinada conforme a Tabela 11, temos a classe de inércia térmica FRACA.

Por essa razão alteramos o parâmetro no sistema Cypetherm REH, ajustando a classe de inércia para FRACA. No “Anexo XXXV- (REH) Nova Classe de Inércia Térmica”.

6.3.2. DB-HE - *Compacidad*

Para determinar alguns dos valores do cumprimento do DB-HE faz-se necessário calcular a “*Compacidad*”, que é o valor obtido pela relação entre o volume delimitado pelo envelope térmico (V) do edifício (ou parte do edifício) e a soma das superfícies (A_i) de troca de calor com o ar, e o exterior, ou com o terreno, da referida envolvente térmica ($A = \sum A_i$). A “*Compacidad*” é expressa em m^3/m^2 (*Guía de aplicación*, 2019).

Tabela 38 - *Compacidad* da envolvente térmica

Cód. da Envolvente	Tipo de Contato	Descrição	Largura	Comprimento	Superfície da E.T.(m2)	Superfície calculável
P01 - Pav. Enterrado - No Habitável						
S-PDE1-0	Exterior	Parede Enterrada	1	32	32	0
S-PVE0-1	Exterior	Pavimento Térrio	8	8	64	0
Total:					96	0
P02 - Rés de Chão – Habitável						
I-PV1-1	Interior	Pavimento entre Pisos	8	8	64	0
I-PV2-1	Interior	Pavimento entre Pisos	8	8	64	0
E-PD1-1	Exterior	Parede Exterior	2.52	32.84	82.76	82.76
Total:					210.76	82.76
P03 - Cobertura - No Habitável						
E-CO2-1	Exterior	Cobertura Exterior	4	32	64	0
Total:					64	0

A “*Compacidad*” é igual a $210.76/82.76 = 2.55$, pois se considera a superfície do envelope sem contar paredes partidárias, pois são consideradas adiabáticas.

De forma resumida, pode-se dizer que o intuito da medida da “*Compacidad*” é averiguar a quantidade de área do edifício exposta ao lado exterior pois, quanto mais “recortes” existir, mais área de transmissão térmica existirá (*Guía de aplicación*, 2019).

6.4 Coeficiente de redução de perdas

O coeficiente de redução de perdas é característico de um espaço não aquecido ou ventilado no interior, anexo ao edifício, ou mesmo por uma fração autónoma. (GUIA SCE 1, 2020)

Em Portugal é representado por um valor adimensional, significando que um valor próximo de 1 indica que a temperatura do ambiente interior possui uma temperatura bem próxima da temperatura do exterior. Assim, para se definir o coeficiente de redução de perdas (btr), calcula-se o A_i (a área dos elementos que separam o espaço útil interior do espaço não útil) e o A_u (a área dos elementos que separam o espaço útil do ambiente exterior), de acordo com a metodologia prevista no Despacho n.º 15793-K/2013.

Na Espanha são utilizadas referências diversas, descritas no *Documento de Apoio DA DB-HE / 1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente"*, que demonstram vários métodos utilizados nos cálculos dos parâmetros característicos dos diferentes elementos que constituem a envolvente térmica do edifício (*Sección HE 4*, 2005). Na falta de valores mais precisos sobre as soluções realmente existentes ou definidas no projeto, o “*Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*”, fornece valores para os parâmetros de materiais, produtos e elementos

construtivos, podendo ser utilizado outras fontes de dados suficientemente contrastantes. (DB-HE, 2019)

6.4.1. Coeficiente de redução de perdas no Cypetherm

O valor do fator de redução do espaço não útil é determinado com base na EN ISO 13789, no REH, descrito no “Anexo XIX - (REH) Cobertura – Cálculo do factor de redução e Anexo XVII - (REH) Cava – Cálculo do factor de redução”, e para o DB-HE a descrição é encontrada no “Anexo XXVII - (DB-HE) *Cálculo del factor de reduccion*”.

Em Portugal essa informação encontra-se no “Item 11. Coeficiente de redução de perdas (btr), do Diário da República, 2.ª série - N.º 234 -3 de dezembro de 2013”. Na Espanha encontramos no “DA DB-HE / 1 *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente, Tabla 7 - Coeficiente de reducción de temperatura (b)*”.

Os resultados dos anexos apresentam valores com pequena diferença, e na verificação das fórmulas nos referidos documentos citados, percebemos que os coeficientes de redução de perdas são utilizados em estruturas de cálculos diferentes, onde tomamos a decisão de deixar os valores referidos, respectivamente, para cada Cypetherm.

Tabela 39 - Coeficiente de redução de perdas (Cypetherm REH e HE Plus)

Pavimento	REH	HE Plus
Cava	0.59	0.61
Cobertura	0.74	0.71

6.5 Coeficiente global de transmissão de calor através do envelope térmico do edifício

O Coeficiente global de transmissão de calor (através do envelope térmico do edifício) [K], é o valor médio do coeficiente de transferência de calor, ou seja, o calor que a superfície troca com a envolvente (A_{int}). (*Guía de aplicación*, 2019), sendo uma exigência somente do DB-HE, em sua versão 2019, não existente nas versões anteriores.

O valor de referência limite (K_{lim}) é encontrado por interpolação do valor obtido pela “*Compacidad*”, cujo resultado é obtido na “*tabla 3.1.1.b-HE1*”, de acordo com a zona climática. A seguir comparamos com o resultado dos cálculos realizados através da formulação contida no “*Documento Básico HE Ahorro de energía - Anejo A. Terminología*”, como consta descrito no “*Anexo X - Cumplimiento de la exigência básica HE1*”. Os valores referidos no Cypetherm HE Plus são:

Tabela 40 - Coeficiente global de transmissão de calor (K) (Cypetherm e DB-HE1, 2021)

Cypetherm HE Plus [W/(m².K)]	DB-HE 1 [W/(m².K)]
K	K_{lim}
0.51	0.62

6.6 Vãos Envidraçados

Para os vãos envidraçados os métodos de cálculos são bem diferentes entre os usados em Portugal e na Espanha. A tabela seguinte, em alguns casos, não apresenta relação direta entre os valores apresentados, utilizada somente a sua referência como elemento material, sua característica física, e a sigla para os cálculos dos regulamentos. Os referidos valores são encontrados nas tabelas do item 7 do Diário da República, 2.^a série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013 e nas tabelas do *DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente térmica*.

Tabela 41 - Descrição das características dos vãos envidraçados (D15793-K/2013 e DA DB-HE/1)

Descrição	Características	D15793-K/2013			DA DB-HE/1		
		Sigla	Tab./Ref.	Valor	Sigla	Tab./Ref.	Valor
Fator solar do vidro	Incolor 4 x 4 mm	g_v,vi	Item 7 12	0.40	g_{gl;n}	11	0,45
Dispositivos de proteção solar	Proteções exteriores - Persiana de réguas plásticas, claras	g_{tvc}	Item 7 13	0,04	g_{gl;sh,wi}	12	0,03
Fração Envidraçada	Sem quadrícula - Madeira ou PVC	F_g	Item 7 20	0,65	Ψ_p y Ψ_v	10	0,08 / 0,06
Coefficiente de absorção	Da radiação solar	A	Item 4 Tab. 8	0.4	ρ_e,B	12	0.30
Fator solar global	Formula está abaixo da tabela	g_r	Item 7.6	-	g_{gl;;wi;m}	Item 2.2.3	-
Fração de tempo	Estação de arrefecimento	G_v	Item 7.2	-	-	-	-
	Dispositivos móveis se encontram totalmente ativados	F_{mv}	Item 7 14	-	f_{sh;with}	14.a e 15.b	-
Fator de obstrução da radiação solar	F _h .F ₀ .F _f	F_s	-	-	-	-	-
	Fator de sombreamento por			-	-		
	F _h - Horizonte por obstruções exteriores		Item 7 15	-	-		
	F ₀ -Elementos horizontais sobrejacentes		Item 7 17	-	-		
	F _f - Elementos verticais adjacentes		Item 7 18 e 19		-		
Fator de sombra para obstáculos de fachada	No REH se cálculo usando as dimensões dos elementos, no HE é tabelado em relação as dimensões, orientação e sua localização				F_{sh,obst}	16,17,18 e 19	-
Irradiação solar média acumulada no mês de julho	Simulação HULC (ganhos são parâmetros que precisam ser calculados por simulação térmica, eles não podem ser calculados exclusivamente a partir de dados geométricos)				H_{sol;jul}	20 e 21	-
Parâmetro de controle solar	Valor limite do parâmetro de controle solar em kWh/m ² ·mês, para uso diferente da residência assumo 4,00				q_{sol;jul}	3.1.2 HE1	2,00

O item “8.1. Sombreamento do horizonte por obstruções”, que consta do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, determina a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de 20° no caso de edifícios isolados, localizados fora das zonas urbanas, como parametrizado nos *softwares* descritos no “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPERTHERM HE PLUS”, item “5.7. Elementos da Envolvente Envidraçada”.

Em Portugal verifica-se a validação dos requisitos dos vãos envidraçados, com as formulações descrita no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, tendo como exigência a relação dos vãos, com os compartimentos. O somatório da área (A_{env}) e sua proporção com a área de pavimento do compartimento que serve (A_{pav}), entre outros quesitos.

O $gT_{máx}$ é o fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados, encontrando-se na Tabela I.06 da Portaria n.º 349-B/2013. Ele varia de acordo com a inércia térmica do edifício e com a zona climática de verão. O vão orientado a norte não tem a obrigatoriedade do cumprimento dos requisitos.

Na Espanha não se faz cálculos para a estação de arrefecimento, sendo o $Q_{sol,jul}$, referente ao mês de Julho, somente. As normas utilizadas como referência de cálculo de transmitância térmica, são UNE-EN 14501, UNE EN ISO 10077, UNE-EN ISO 52016-1 e a UNE-EN ISO:52022-3.

Tabela 42 - Requisitos para o vão envidraçado (Cypetherm REH e HE Plus)

Descrição	Sigla	Iglo energy classic PVC [m²K]	Cypetherm REH	Cypetherm HE Plus
Transmitância térmica do vidro	Ug	0.3	0.3	0.3
Transmitância térmica da janela	Uw	0.6	0.6	0.6
Transmitância térmica do caixilho	Uf	0.5	0.5	0.5
Fator solar do vidro	$g_{i,vi}$	-	0.2	0,2
Dispositivos de proteção solar	g_{tvc}	-	0,04	0,03
Fração Envidraçada	F_g	-	0,65	0,08 / 0,06
Coeficiente de absorção	A	-	0.5	0.38

Entre todas as exigências regulamentares, a análise dos vãos envidraçados é uma das que mais apresenta fatores de passo e sutileza na realização de seus cálculos.

6.7 Taxa de renovação do ar

Em Portugal, para os edifícios de habitação, existe a obrigatoriedade de garantir um caudal de ar mínimo de 0,4 renovações por hora (h^{-1}). A contabilização deste débito de ar é efetuada por intermédio de uma folha de cálculo disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que usamos para parametrizar os *softwares* Cypetherm's, encontra-se os resultados no “Anexo IX - Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS”.

Para Espanha temos dois fatores singulares (DB-HE, 2019):

- 1) O limite de permeabilidade do ar dos vazios do envelope térmico, $Q_{100,lim}$ [$m^3/h \cdot m^2$], limitados aos valores da *Tabla 3.1.3.a-HE1* definidos pela classe 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) e classe 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) da UNE-EN 12207: 2017. Como a zona climática de inverno, no modelo de estudo, é igual a zona A. Temos a classe 2 como exigência mínima para o $Q_{100,lim}$.
- 2) O valor limite da relação de troca de ar a uma pressão de 50 Pa(n_{50}), relativa ao método B da norma UNE-EN 13829:2002 que, porém, são para construções com superfície úteis acima das 120m². Então não se aplica como requisito no modelo em estudo.

6.8 Limitação de condensação

Em Portugal é necessária a verificação de condensações no REH, na medida em que limita o valor da transmitância térmica (U) para as PTP (Pontes térmica planas). O Cypetherm REH realiza esta averiguação utilizando a ISO 13788. Os resultados estão apresentados no “Anexo XVI - (REH) Verificação de formação de condensações”.

Na Espanha no DB-HE é uma avaliação de exigência obrigatória, tendo como apoio o documento DA DB-HE / 2 “*Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos*”, que inclui procedimentos para calcular o risco de condensação (tanto superficial quanto intersticial). O Cypetherm realiza a averiguação da exigência com base na EN ISO 13788 e os cálculos podem ser encontrados no “Anexo XXVII - (DB-HE) Condensaciones”.

Ambas as análises de condensações que constam nos anexos dessa dissertação, apresentam resultados idênticos.

6.9 Sistemas Técnicos - Requisitos Gerais

Para atender a demanda de bem-estar térmico e de higiene das pessoas, os requisitos direcionam as características e condições de funcionamento das instalações térmicas, das instalações fixas de ar condicionado (aquecimento, arrefecimento e ventilação) e da produção de água quente sanitária (AQS). O objetivo é reduzir o consumo de energia convencional das instalações térmicas e, por consequência, as emissões de GEE e outros poluentes atmosféricos.

Tabela 43 - Características dos sistemas técnicos (REH e DB-HE 2 / RITE - Parte II – IT 1.2)

Característica	REH	DB-HE 2 / RITE
Comum	Marcação CE através de etiqueta energética	
Índice	SCOP, SEER e η_{wh} .	EER, COP
Eficiência energética	Potência térmica nominal superior a 25 kW ter projetos conformidade artigo 44º da Portaria n.º 701-H/2008	Más cercanas posible a su régimen de rendimiento máximo. IT 1.2 Exigencia de eficiencia energética
Distribuição de calor e frio	Classificação pela certificação Eurovent superior a B e	Critérios UNE EM ISO 12241
	Tubulações com isolamento e espessura mínima de conduta de ar, com equipamentos cumpridos valores mínimos de	

	Eficiência	
Regulagem e controle	Bombas de Calor para AQS COP $\geq 2,30$ EN14511 e EN16147 Climatização COP e EER $\geq 2,30$	Níveis de controle de ventilação, aquecimento, arrefecimento, umidade e Desumidificação
Contabilidade de consumo	Perdas estáticas máximas admissíveis de Volume em [Litros] em relação ao Qpr [kWh/24h] máximo	Computar horas de consumo dos: Geradores > 70kW, Bombas e Ventiladores > 20kW e Frigorífico > 70kW
Recuperação de energia	EN12809, EN13229, EN13240 e EN14785	Eficiência mínima e Perdas de pressão máximas UNE EN 13053 e UNE EN 1751

6.9.1. Instalações de iluminação e acústico

Para ambos os regulamentos, as instalações de consumo e demanda das energias elétricas e a luminotécnica não são requisitos obrigatórios de verificação em uso residencial. Porém para edificações de uso não residencial esse quesito é previsto no REC de Portugal e no DB-HE3.

Para os cálculos acústicos e a verificação do isolamento, para sons aéreos, percussão, absorção sonora, tempo de reverberação e nível de avaliação sonora proveniente do ruído de equipamentos, temos regularizados em Portugal, através do Decreto-Lei n.º 129/2002 - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), do DL n.º 96/2008 e a norma EN 12354 (ISO 15712). Na Espanha, usa-se o *Documento Básico protección frente al ruido* DB-RH. Ambos não fazem parte das medidas de avaliação de requisito da EEE, dos regulamentos REH e DB-HE em 2021.

6.9.2. Horas fuera de consigna

Presente no DB-HE, as “*horas fuera de consigna*” é o número de horas ao longo do ano em que algum dos espaços climatizados do edifício ou, se for o caso, parte do edifício, que se encontra durante os períodos de ocupação, fora da faixa de aquecimento ou arrefecimento, com uma margem superior a 1°C, estando definida conforme as condições operacionais (descrito no “*Anejo D Condiciones operacionales y perfiles de uso*”). O total de “*horas fuera de consigna*” não pode exceder 4% do tempo total da ocupação do ambiente. Esse requisito é proposto para orientação de moradias totalmente passivas que, sem o uso de equipamentos auxiliares, mantenham o conforto interno (DB-HE).

6.9.3. Sistema Solar Térmico

Para o cálculo da produção de energia de fonte solar, foi usado o *software* SCE.ER versão 1.7, da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) - “Cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis”. Pode-se analisar os resultados com maiores detalhes no “Anexo III - Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico”, dessa dissertação.

Tabela 44 - Referência de Demanda de A.Q.S. REH e DB-HE para um T1 (SCE.ER versão 1.7.0 e DB-HE Anejo F Demanda de referencia de ACS)

Descrição	REH	HE
Consumo diário (l/dia)	40	28
Temperatura (°C)	35	55
Ocupantes	2	1,5
Consumo Global Diário (l/dia)	80	42

No regulamento de Portugal é obrigatório o uso de coletores solares para A.Q.S., porém para a Espanha, a contribuição para edifícios novos só exigem coletores solares para A.Q.S. em demandas superiores a 100 L/d, conforme descrito no “DB-HE 4 - *Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria, Anejo F*”.

Tabela 45 - Característica do uso de energias solar renováveis (REH e DB-HE 4)

Característica	REH	DB-HE 4
Solar térmico	Sistema obrigatório	Obrigatório quando a demanda é maior que 100 l/dia e opcional quando menor
Solar fotovoltaica	Aumenta a classificação energética	Opcional para o requisito de energia renovável
Energias renováveis	Eren $\geq$ Eren padrão	Aumenta a classificação energética
Energia convencional	-	Limitações do uso

Tabela 46 - Características do sistema solar térmico para Alcoutim – Faro – Portugal (SCE.ER)

Característica	Unidade	Valores	Descrição
Coletores Padrão REH	-	4	
Painel	m ²	2.6	
Deposito	L	200	
Energia útil solicitada	kWh	1.188	100%
Satisfeitas por origem solar	kWh	1.060	89%
Satisfeitas pelo apoio	kWh	128	11%
Rendimento	%	34	
Produtividade	kWh/m ²	408	
Perdas	%	46	

6.10 Necessidades de energia útil

As necessidades de energia útil são apuradas de formas diferentes para cada normativa. Portugal usa o método através da comparação com um edifício de referência; o mesmo método era utilizado na Espanha nos DB-HE anteriores a 2019. Atualmente o DB-HE 2019 calcula o consumo e demanda, fazendo referência a índices tabelados por zonas climáticas.

Tabela 47 - Necessidades de energia útil REH e DB-HE

REH	DB-HE	Descrição
$N_{ic} \leq N_i$	-	Necessidades de aquecimento inferiores ou iguais às necessidades de aquecimento de referência
$N_{vc} \leq N_v$	-	Necessidades de arrefecimento inferiores ou iguais às necessidades de arrefecimento de referência
$N_{tc} \leq N_t$	-	Necessidades de totais inferiores ou iguais às necessidades totais de referência
-	$C_{ep,nren} < C_{ep,nren,lim}$	O consumo de energia primária não renovável não deve exceder o valor limite da tabela 3.1.a-HE0 ou da tabela 3.1.b-HE0
-	$C_{ep,tot} < C_{ep,tot,lim}$	O consumo total de energia primária não deve exceder o valor limite da tabela 3.2.a-HE0 ou da tabela 3.2.b-HE0:

A redução do consumo de energia e a promoção do uso de energia proveniente de recursos renováveis no setor da construção, constituem pilares de políticas energéticas da UE, a fim de diminuir sua dependência energética e suas emissões dos GEE. As diretrizes destas políticas estão estabelecidas no Diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010 sobre Eficiência Energética dos Edifícios (EEE).

Tabela 48 - Uso de energia proveniente de recursos renováveis

REH	DB-HE
Artigo 16º do Decreto-Lei n.º 118/2013	<i>Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre - Anejo E</i>
$N_{ic} \leq 0.75N_i$	-
$N_{tc} \leq 0.50N_t$;	$C_{ep,tot} < C_{ep,tot,lim}$
zona climática I, $N_{ic}/N_i \leq 0,6$ então $g_{T,max} \leq 0,15$	-
As fontes de energia renovável $\geq 50\%$ das necessidades anuais de energia primária. Uso de energia solar térmica	$C_{ep,nren} < C_{ep,nren,lim}$ Uso de energia renovável $\geq 70\%$ para AQS, ou $\geq 60\%$, quando AQS < 5000 l/d

6.11 Âmbito das aplicações

Além de construções novas, a legislação de ambos os países elenca as seguintes aplicações obrigadas da EEE:

- 1) Aumentar a superfície ou volume em mais de 10%, quando a superfície útil total estendida ultrapassar 50 m²;
- 2) Mudanças de uso, quando a área útil total ultrapassar 50 m²;
- 3) Reformas nas quais as instalações de geração térmica e mais de 25% da área total da envolvente térmica, são renovadas em conjunto.

As que são excluídas da obrigatoriedade são:

- Edifícios oficialmente protegidos; Uso igual ou inferior a dois anos;
- Edifícios industriais de defesa e agrícolas; e
- Edifícios isolados com área útil total inferior a 50 m².

7. INDICADORES DE DESEMPENHO DE PORTUGAL E DA ESPANHA

7.1 Indicadores de aquecimento e arrefecimento

O desempenho energético de edifícios de habitação assenta-se em dois balanços de energia, o real e o de referência, contabilizando-se no primeiro as necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento, preparação de águas quentes sanitárias, ventilação e contribuição de sistemas renováveis. No balanço de referência, para Portugal, o procedimento é similar ao real, no entanto, considera-se a inexistência de sistemas renováveis e a ventilação é exclusivamente natural (GUIA SCE 3, 2020).

Em termos de aquecimento e arrefecimento, os balanços são organizados assim:

- **Transferência de calor em torno do edifício (Ganhos Térmicos Brutos)**

Estabelece a quantidade de energia que é transferida por todos os elementos das envolventes, opacos, não opacos, exteriores, interiores e em contato com o solo, como paredes, tetos, pisos, pontes térmicas planas e pontes térmicas lineares.

- **Transferência de calor por renovação de ar (Ventilação)**

Estabelece transferências de calor por meio de ventilação (natural ou mecânica) nas residências. Introduzindo ar exterior, promovemos a renovação e ao mesmo tempo contribuímos para a salubridade. Por outro lado, há diferença de temperatura entre o ar introduzido e a temperatura do interior, havendo a necessidade de compensar a balança térmica.

- **Ganhos térmicos (Elementos Leves)**

Na hora do aquecimento, uma casa tem ganhos solares através das aberturas de envidraçamento e ganhos devido às cargas internas, que podem ser causadas pela iluminação, equipamentos e ocupação. Os ganhos solares dependem principalmente das dimensões e características dos vãos envidraçados, orientação e elementos que provocam sombreamento nos mesmos. (GUIA SCE 3, 2020)

7.2 Certificação energética REH e DB-HE

É importante distinguir, em primeiro lugar, os termos certificado, certificação e qualificação, conforme o documento CERTIFICADOS ENERGÉTICOS, 2021) (ENERGI.GOV.ES, 2021:

- A Certificação é o processo que leva à emissão do certificado de eficiência energética, realizado pelo Perito Qualificado.
- A Qualificação é a medida que determinado método de eficiência energética utiliza para expressar por meio de uma série de indicadores, o consumo e a demanda energética da edificação.
- O Certificado é um documento emitido pelo governo e descreve a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel, onde consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e qualifica a qualidade do ar interior de um edifício ou fração

autônoma, classificando o imóvel em função do seu desempenho energético em uma escala de letras. Dá origem a uma etiqueta correspondente à escala distintiva de letras e cores associada a este processo, ficando à vista do público em alguns edifícios.

Na Europa a *directive 2005/36/EC of the European Parliament and of the Council of 7 September 2005 - on the recognition of professional qualifications (Text with EEA relevance)*, caracteriza as profissões para certificação energética das edificações. A EN 15217 - *Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*, tem a base da escala energética, que muitos países seguem para efetuar através dela os seus métodos de cálculo, com limitação de energia de consumo primária e/ou de emissões de CO₂.

Em Portugal, converge-se a certificação energética no REH ou REC, do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) (Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de agosto de 1951) e pelo RCCTE, sendo as interveniências e competências do SCE (CERTIFICADOS ENERGÉTICOS, 2021).

Na Espanha, a convergência da certificação energética é realizada com o DB-HE do “*Código Técnico de la Edificación (CTE)*” conforme o RITE (ENERGI.GOV.ES, 2021), sendo as interveniências e competências aquelas orientadas pelo “*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*”.

7.3 Indicadores utilizados em Portugal

Tabela 49 - Indicadores de necessidades de energia de cálculo e de referência REH

Indicador	Descrição
N_{ic}	Valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento de cálculo
N_I	Valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento de referência
N_{vc}	Valor das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de cálculo
N_v	Valor das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de referência
N_{tc}	Valor das necessidades nominais de energia primária de cálculo
N_t	Valor das necessidades nominais de energia primária de referência

As necessidades de energia útil para aquecimento traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a 18°C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento (GUIA SCE 3, 2020).

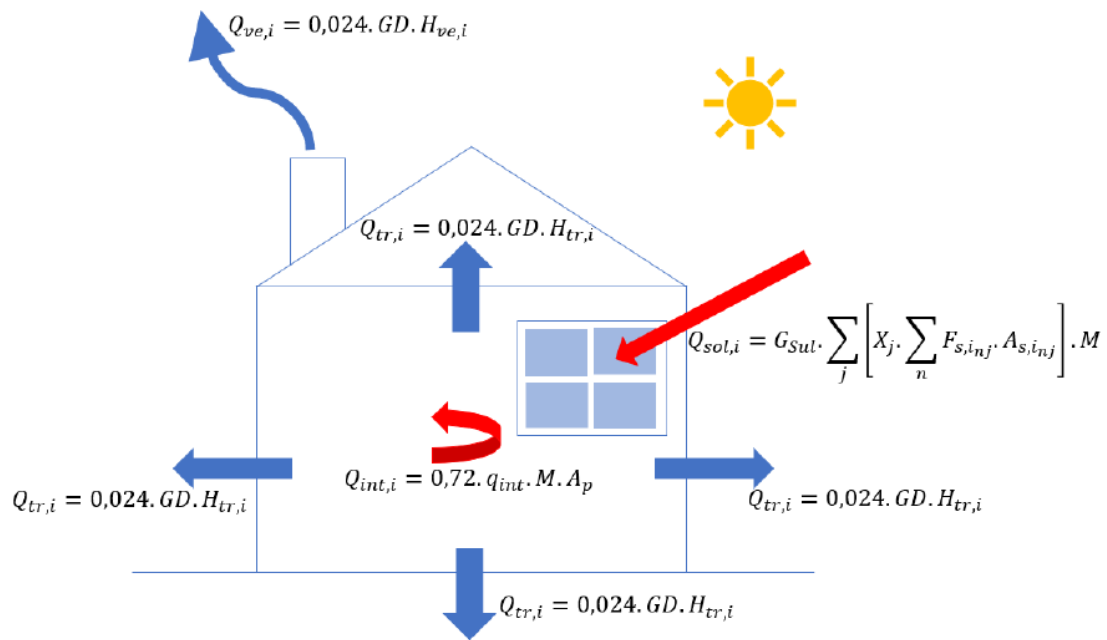


Figura 45 - Balanço de energia do edifício - Necessidades de aquecimento (GUIA SCE 3, 2020)

Q_{tr} – Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios [kWh];

Q_{ve} – Transferência de calor por ventilação [kWh];

GD – Número de graus-dia de aquecimento especificados para cada região NUTS III [°C.dia]

H_{ve} – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação [W/°C].

H_{tr} – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão [W/°C].

Q_{int} – Ganhos por fontes internas [kWh];

q_{int} – Ganhos térmicos internos médios, igual a 4 W/m².

M – Duração média da estação[mês].

A_p – Área interior útil de pavimento [m²].

Q_{sol} – Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados [kWh]

G_{sul} – Valor médio de energia solar incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície [kWh/(m².mês)].

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições (Tabela 01 do Despacho n.º 15793-I/2013);

$F_{s,ijn}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;

$A_{s,nj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j [m²];

j – Índice que corresponde a cada uma das orientações;

n – Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

Q_a - Necessidades de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano].

W_{vm} - Estimativa o consumo de energia elétrica de funcionamento dos ventiladores [kWh/ano].

E_{ren} – Energia de fontes de renováveis [kWh/ano]

Q_g - Ganhos térmicos brutos [kWh/ano]

Há os indicadores Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{sol} , Q_{int} , G_{sul} , Q_a , E_{ren} e M para a estação de aquecimento (i) e para a estação de arrefecimento (v), e o E_{ren} para vários tipos de energias. No REH também há outros indicadores, além dos mencionados.

7.3.1. Classe energética para certificação energética (R_{Nt})

No caso de pré-certificados e certificados SCE de edifícios de habitação, define-se a classe energética (R_{Nt}) (Guia SCE 2, 2020), com:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad [\text{Admencional}] \quad (2)$$

Equação 2 - Classe energética de certificação energética (R_{Nt})

Os intervalos dos valores obtidos por R_{Nt} , mostram a classificação energética.

Tabela 50 - Classificação Energética em Portugal

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

A classe energética dos edifícios de habitação é obtida pela relação entre os dois balanços acima descritos. Para edifícios novos existe a exigência de que o valor do balanço real seja inferior ao valor de referência.

Os cálculos são realizados pelo Perito Técnico regulamentado, através da folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH (Decreto-lei n° 118/2013 de 20 de agosto), que é fornecida pelo ITECONS (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade).

7.3.2. Facilidade para obter nZeb em Portugal

Para as características nZeb, a Portaria n.º 297/2019, orienta a compra dos elementos da construção, pelo seu coeficiente de transmissão térmica (U) e pelos requisitos do comportamento técnico, na eficiência dos sistemas técnicos, nas construções novas e nas reabilitações de edifícios sujeitos a grandes intervenções.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica através da envolvente, tomam os valores de referência da Portaria n.º 379-A/2015, que norteia a adoção do $U_{\max}$ para os elementos construtivos, já descrito no capítulo 6 - AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS.

Conforme o artigo 16º do Decreto-Lei n.º 118/2013, os edifícios devem “*Devem ter necessidades quase nulas de energia os edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020*”, entrando em vigor em 1º de janeiro de 2021 a Portaria nº42/2019, publicada em 30 de janeiro de 2019 no Diário da República de Portugal, que define os requisitos para a concepção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a intervenção e dos edifícios existentes. A portaria se refere ao nZeb, na definição de valores máximos para os Indicadores de Eficiência Energética (IEES) e da proporção da classe energética (RIEE), para edifícios de comércio e serviços novos e edifícios sujeitos a grandes intervenções. Com a entrada em vigor da Portaria, os edifícios nZeb necessitam ter um IEES inferior a 75% do Indicador de Eficiência Energética do edifício de Referência.

Tabela 51 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos, U_{ref} [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]

Uref ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)		Zona climática de inverno			
Zona corrente		I1	I2	I3	RA ⁽²⁾
Elementos da envolvente em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr}^{(1)} > 0,7$	Elem. opacos verticais	0,40	0,35	0,30	0,80
	Elem. Opacos Horizontais	0,35	0,30	0,25	0,45
Elementos da envolvente em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr}^{(1)} \leq 0,7$	Elem. opacos verticais	0,80	0,70	0,60	1,50
	Elem. Opacos Horizontais	0,70	0,60	0,50	0,85
Elementos em contacto com o solo		0,50			

(1) Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis

(2) Para as Regiões Autónomas, Açores e Madeira, foram consideradas as altitudes médias e assim definida a zona climática de Inverno I1.

7.4 Indicadores utilizados na Espanha

A IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*) descreve o procedimento para a obtenção dos indicadores de desempenho energético de referência para as comunidades autónomas, e disponibiliza os dados climáticos, sendo usado o procedimento de referência CALENER (IDEA, 2009).

O procedimento completo desenvolvido, conforme a “*Escala de calificación energética para edificios de nueva*” da IDAE, compreende as seguintes etapas:

- Obtenção dos indicadores de energia correspondentes à construção do objeto.
- Obtenção dos indicadores de energia de referência.

- Obtenção de índices de eficiência energética.
- Obtenção dos índices de classificação.
- Atribuição das classes de eficiência associadas a cada índice de classificação.

Tabela 52 - Operadores de análise da demanda Energética (Cypetherm HE Plus)

Sigla [kWh/m ² ·ano]	Descrição da transferência de energia
Q _{op}	Transmissão térmica através de elementos pesados em contato com o exterior
Q _w	Transmissão térmica por meio de elementos leves em contato com o exterior
Q _{ve+inf}	Transmissão térmica por ventilação
Q _{equip}	Ganho de calor interno devido ao equipamento interno
Q _{ilum}	Ganho de calor interno devido à iluminação
Q _{ocup}	Ganho de calor interno devido à ocupação
Q _H	Entrada de energia do aquecimento
Q _C	Entrada de energia do resfriamento
Q _{HC}	Energia para aquecimento e refrigeração

Os elementos representam a energia que foi perdida ou ganhada por transmissão térmica pelos elementos brutos e leves (Q_{op} e Q_w, respectivamente), a energia trocada pela ventilação e infiltrações (Q_{ve+inf}), o ganho de calor devido à ocupação (Q_{ocup}), iluminação (Q_{ilum}) e equipamentos internos (Q_{equip}), bem como a entrada necessária de aquecimento (Q_H) e resfriamento (Q_C).

7.4.1. Escala de qualificação EEE na Espanha

Para cada um dos indicadores energéticos e para cada um dos graus de similaridade identificados, o cenário de comparação é obtido estimando-se a situação provável que terão os edifícios construídos em Madrid, no ano de 2006. As hipóteses levantadas foram (IDEA, 2011):

- Nos novos edifícios destinados a habitações terão uma tipologia semelhante às construídas na década de 1991-2000.
- A qualidade construtiva da sua envolvente, de forma a limitar a procura de energia, não excederá substancialmente os requisitos expressos no CTE-HE 1 (*Condiciones para el control de la demanda energética*).
- O desempenho dos seus sistemas térmicos e o aporte de energias renováveis seguem os valores mínimos exigidos pela CTE-HE 2 (*Condiciones de las instalaciones térmicas*) e CTE-HE 4 (*Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria*). Nos casos em que não haja indicações precisas, será assumido que as tendências anteriores à implantação do CTE são mantidas.
- A contribuição da iluminação artificial não é considerada significativa.

Baseados nos índices C₁ e C₂ para cada um dos indicadores, valores de classificação energética das moradias unifamiliares, pode-se obter pelas seguintes fórmulas (IDEA 1, 2009):

$$C_1 = \frac{(R \cdot I_o / \bar{I}_r) - 1}{2(R - 1)} + 0,6$$

$$C_2 = \frac{(R' \cdot I_o / \bar{I}_s) - 1}{2(R' - 1)} + 0,5$$

Equação 3 - Índices C1 e C2 para a classificação energética das moradias unifamiliares (IDEA, 2011)

Onde temos:

I_o : É o valor do indicador que se obtém analisando (emissões anuais de CO_{2e} , consumo anual de energia primária não energia renovável, demanda de aquecimento, etc.) do edifício alvo.

I_r : É o valor médio do indicador de estoque de referência de novos edifícios de uso residencial privado (local de moradia).

R : É a razão entre o valor de I_r e o valor do indicador correspondente ao percentual de 10% de referência, de novos edifícios para uso residencial privado (habitação).

I_s : É o valor médio do indicador do parque de referência de edifícios existentes, para uso residencial privado (local de moradia).

R' : É a razão entre o valor de I_s e o valor do indicador correspondente ao percentual de 10% de referência de edifícios existentes, para uso residencial privado (habitação).

Os valores de I_r , R , I_s e R' , são correspondentes às diferentes zonas climáticas e estão incluídos documento “*Calificación de la eficiencia energética de los edificios*”, Anexo III. No Anexo IV do referido documento, encontram-se os valores das escalas de eficiência energética para diferentes indicadores em uso residencial.

A seguir temos as classificações energéticas dos edifícios residenciais:

Tabela 53 - Classificação energética e índices para edifícios para uso residencial privado (IDEA 1, 2009)

Calificación			Índice		
A			$C1$	<	0,15
B	0,15	≤	$C1$	<	0,50
C	0,50	≤	$C1$	<	1,00
D	1,00	≤	$C1$	<	1,75
E	1,75	≤	$C1$		
			$C2$	<	1,00
F	1,75	≤	$C1$		
	1,00	≤	$C2$	<	1,50
G	1,75	≤	$C1$		
	1,50	≤	$C2$		

7.4.2. Facilidade para obter nZeb na Espanha

O novo documento DB-HE, permitiu o período de seis meses de ação voluntária, todavia em 27/12/2019 foram implantadas as novas alterações, sendo estendendo o prazo até 24/09/2020 por causa da pandemia causada pelo *Coronavirus Disease* 2019.

As alterações no HE 0 e HE 1 trouxeram melhorias aos envolventes térmicos para que a validação energética fosse mais passiva, valorando menos os equipamentos de aquecimento e arrefecimento ou energias renováveis. (DB-HE, 2019)

Para o HE 1, mais especificamente, uma das características marcantes é a “*Tabla a-Anejo E*”, que diz resumidamente que se a transmitância térmica U [W/m^2K] da envolvente térmica estiver no limite dos valores da tabela, a eficiência energética da edificação irá cumprir os limites do coeficiente global de transferência de calor (K). (DB-HE 2019)

Tabela 54 - Tabela a-Anexo E. - Transmitância térmica do elemento, U [$W / m^2 K$] (DB-HE)

	Zona Climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_M , U_S	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_C	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_T	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_H	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

Los valores de esta tabla son para la intervención en la globalidad del edificio, es decir, para edificios nuevos o intervenciones sobre edificios existentes que afecten a la globalidad de la *envolvente térmica* (>25%)
 Para el caso de reformas que afecten a <25% de la *envolvente térmica* los valores límite de *transmitancia térmica* para los diferentes elementos constructivos son los de la tabla 3.1.1.a-HE1

Para o HE 0 houve limitações não só na energia primária não renováveis, como em 2013, mas nas alterações normativas, limitando o uso de energia primária total (das renováveis e não renováveis) para delimitar a demanda energética (DB-HE 2019).

8. RESUMO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - REH E DB-HE

8.1 Implementação da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*)

A implementação da EPBD em Portugal é baseada no Decreto-Lei 78/2006 - Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior em Edifícios (SCE), Decreto-Lei 79/2006 - Regulamento dos Sistemas Energéticos e Ar Condicionado de Edifícios (RSECE), e Decreto-Lei 80/2006 - Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). Houve grande mudanças e implementações com o Despacho n.º 15793-“letras”.

Segundo Garrigós (2013), os documentos RSECE e RCCTE são uma transposição das diretrizes EPBD e baseiam-se nas normas europeias EN ISO 13790 – “*Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*”, EN 13789 – “*Industrial valves. Cast iron globe valves*”, e na EN 15603 – “*Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings*”. O SCE estabelece a escala de certificação energética de edifícios e baseia-se na norma europeia EN 15217 – “*Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*”.

A implementação da EPBD na Espanha é baseada no Decreto Real 314/2006 – “*Código Técnico de la Edificación (CTE)*”, Decreto Real 47/2007 – “*Procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Nueva Construcción*”, Decreto Real 1027/2007 – “*Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)*” e no Decreto Real 235/2013 – “*Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*”. Desenvolvendo outros aspectos do EPBD relacionados à escala de classificação de energia com a UNE 15217.

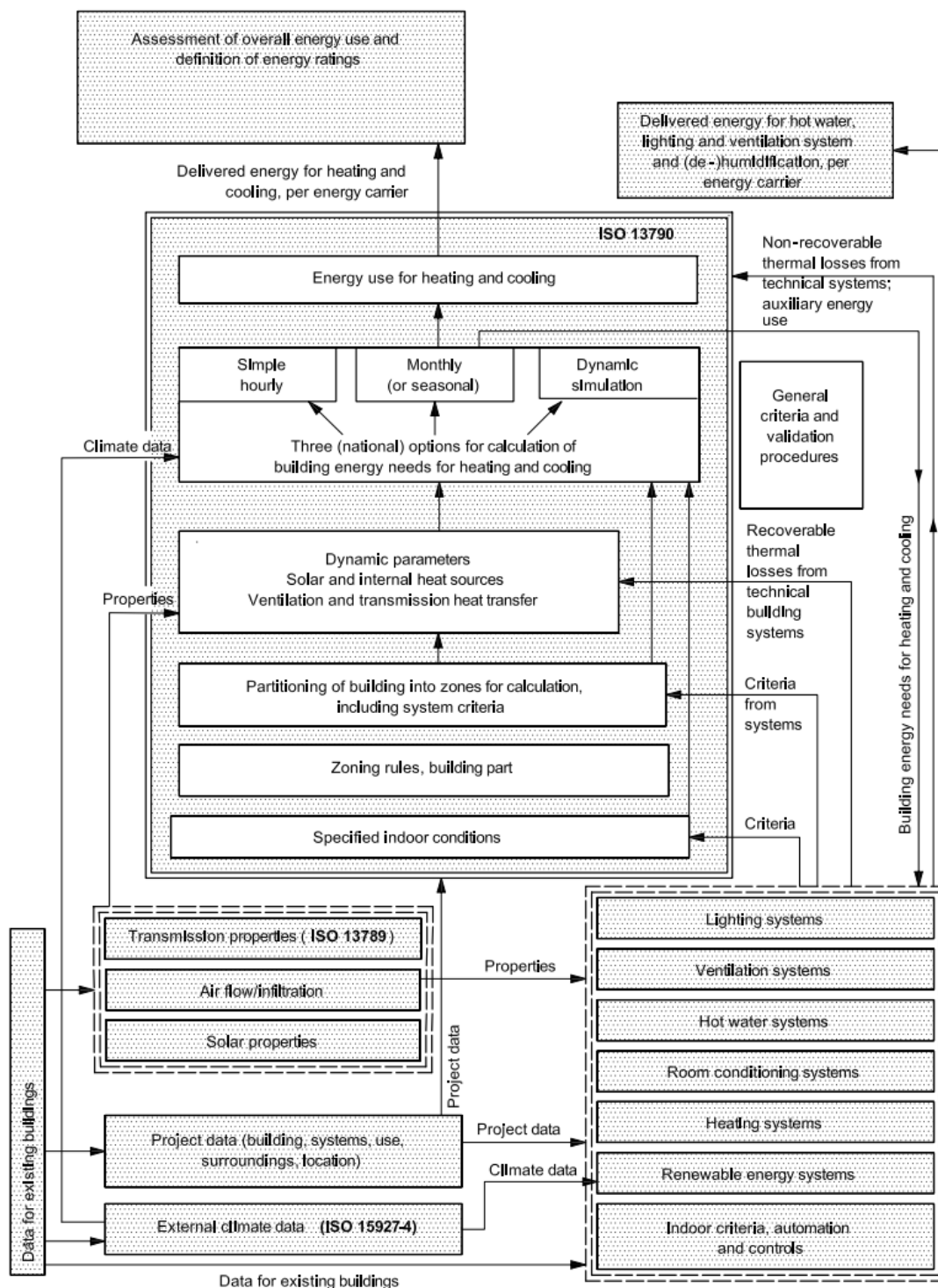


Figura 46 - Flow chart of calculation procedure and links with other standards EN ISO 13790

O processo de cálculo para obtenção das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, seguem o fluxograma da EN ISO 13790 com as principais etapas do cálculo do edifício ou área do edifício objeto de avaliação, com os cálculos dos seguintes aspectos: condições interiores, condições meteorológicas (e outros dados *input* ambiental), características de transferência de calor por transmissão, características da transferência de calor por ventilação, ganhos caloríficos internos e ganhos solares.

8.2 Resumo comparativo entre os requisitos REH e DB-HE

No resumo comparativo mencionamos os principais requisitos existentes entre os dois regulamentos, onde existe uma relação direta ou indireta. No entanto, ressaltamos que essa dissertação foi desenvolvida buscando categorizar e identificar as semelhanças e diferenças entre o REH e o DB-HE, estando descritas nos capítulos anteriormente.

Tabela 55 - Resumo comparativo entre os requisitos REH e DB-HE

REH		DB-HE	
Requisito	Elemento	Normativa	Elemento
Qualidade térmica da envolvente	$U_{\text{máx}}$ da envolvente opaca $U_{w(\text{máx})}$ ou $U_{wdn(\text{máx})}$ da envolvente envidraçada $g_{\text{tmáx}}$ do vão	HE1 - Condiciones para el control de la demanda energética	$K_{\text{sol;jul}}$
Qualidade do ar	R_{PH} mínimo		n_{50} / Q_{100}
Condensações	-		Controlar
Sistemas técnicos	Eficiências dos sistemas técnicos Isolamento acumulação e distribuição Outros	HE2 - Condiciones de las instalaciones térmicas	Especificaciones RITE
	E_{ren} para AQS	HE4 - Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria	ACS 60-70% cubierto por renovables
Energéticos	$N_{\text{ic}}, N_{\text{vc}}, N_{\text{tc}}$	HE0 - Limitación del consumo energético	$C_{\text{ep}}, n_{\text{ren}}, C_{\text{ep}}, \text{total}$
Sistema de análise	Folhas de Cálculos	HULC, CE3X	Cypetherm HE Plus, SG SAVE

8.3 Caracterização dos dados comparativos do cypetherm

Vemos em Garrigós (2013) que os códigos de construção podem ser classificados em dois grupos: códigos prescritivos (baseados em requisitos de eficiência energética para partes individuais do edifício - "*U – values based building codes*") e códigos de desempenho (baseados no cálculo do consumo de energia através de uma análise global do funcionamento do edifício - "*Performanced based building codes*").

Portugal e a Espanha realizam a avaliação da EEE pela demanda de energia seguindo as diretriz EN ISO 13790, porém de um lado por códigos prescritivos, quando analisa as avaliações de requisitos tabelares em relação a transmitância das envolvente e, por outro lado, por desempenho, quando definem padrões com base no uso real de energia dos edifícios, ao invés de conformidade com a tecnologia estipulada ou características de *design*.

As tabelas que seguem, sugerem resumos comparativos entre o regulamento REH e o Documento DB-HE da normativa sobre EEE entre Portugal e Espanha. Os valores apresentados

foram retirados dos resultados obtidos através da simulação no sistema Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus, “Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPERTHERM HE PLUS”, e resultados apresentados nos outros anexos, que seguem juntamente a essa dissertação.

O Anexo I, demonstra a parametrização e interoperabilidade dos elementos do Cypetherm HE Plus com os dados do regulamento REH, como: dados climáticos da cidade de Alcoutim do *software* SCE.CLIMA em EPW (*EnergyPlus Weather Data Format*), evidenciando a Temperatura, Irradiação Solar Diária Global, Irradiação Solar Diária Difusa, umidade relativa e a Intensidade do vento. Também consta outras informações, como a temperatura de conforto: estação de aquecimento = 20°C e estação de arrefecimento = 25°C, o Zoneamento Climático, a ventilação mecânica, sombras móveis, entre outros elementos, que o sistema permitiu a parametrização e interoperabilidade. É pertinente mencionar que mesmo elegendo a mesma empresa fabricante do sistema BEM, nem todos os metadados foram compatíveis. Mais detalhes sobre os sistemas no anexo supra mencionando.

8.4 Resumo DB-HE 2019 e Cypetherm HE Plus

Tabela 56 - Resumos das avaliações dos requisitos do DB-HE 2019

HE1			HE2	H3	H4	H5	H0							
Indicador	Valor edificio	Valor límite					Indicador	Valor edificio	Valor límite					
U cerramientos [W/m²K]			RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios)	NO APLICA (por tratarse de uso residencial privado)	NO APLICA (por tener demanda inferior a 100l/día)	NO APLICA (por tratarse de uso residencial privado)	Consumo EP no renovable [KWh/m²año]	13.17	25					
CUMPREN TODOS		CUMPRE												
K _{global} [W/m²K]	0.48	0.62					Consumo EP total [KWh/m²año]	37.52	50					
CUMPRE		CUMPRE												
q _{sol} [kWh/m²mes]	1.18	2												
CUMPRE		CUMPRE												
Q ₁₀₀ [m³/hm²]	8	< 9												
CUMPRE		CUMPRE												
n ₅₀ [h ⁻¹]	5.29305									Nº horas fuera de consigna (máx 4% anual)	0	350.4		
NO APLICA (Sup 64 m2 < 120 m2)														
U particiones [W/m²K]														
CUMPREN TODOS														
Condensaciones														
CUMPREN TODOS														
COMPLETO			COMPLETO			COMPLETO								

Vemos na tabela a seguir os resultados da demanda de calor por transmissão, ventilação, calor interno total, umidade, energia necessária para aquecimento e aquecimento, entre outros dados, para cada mês do ano, obtidos no Cypetherm HE Plus para o edifício objeto:

Tabela 57 - Resultados da simulação computacional - Demanda do edifício Objeto (Cypetherm HE Plus)

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Temperatura exterior mínima	°C	5.4	4.9	6.7	6.4	11.2	11.6	14.5	14.3	12.1	12.3	8.2	4.4	
Temperatura exterior máxima	°C	20.6	21.7	24.9	25.4	26.7	31.9	34.8	34	33.8	28.2	23.9	22.1	
Humedad relativa exterior media	%	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85	
Temperatura operativa interior mínima	°C	16.2	16.7	17.4	18.4	19.5	20.8	21.6	22.3	21	20	18.1	16.2	
Temperatura operativa interior máxima	°C	23.1	23.1	25.3	25.3	27.6	28.4	29.4	29.8	29.1	30.1	26.2	24.9	
Temperatura media del aire interior	°C	18.6	19	20.2	21.3	22.9	23.5	24.5	24.6	24	23.9	21.1	19.4	
Humedad relativa interior media	%	60	59	58	56	54	56	58	59	60	63	63	63	
Demanda de calefacción	kWh	103.64	42.99	7.66	0.11	-	-	-	-	-	-	1.27	68.73	224.4
Demanda de refrigeración	kWh	-	-	-	-	-	170.25	315.36	327.61	231.69	-	-	-	1044.91
Aporte de energía: Elementos opacos	kWh	42.91	37.21	39.2	33.53	28.38	42.86	119.51	136.6	91.09	32	34.61	37.64	675.53
Pérdida de energía: Elementos opacos	kWh	355.2	311.58	348.63	329.87	346.51	261.38	281.05	292.79	284.17	338.54	295.88	319.17	3764.76
Aporte de energía: Huecos, total	kWh	215.62	226.11	285.16	272.06	276.51	290.39	323.29	332.17	307.57	269.42	233.89	200.49	3232.69
Pérdida de energía: Huecos, total	kWh	55.56	46.05	46.84	40.88	36.39	24	16.77	17.78	23	43.02	45.34	51.73	447.36
Aporte de energía: Huecos, radiación solar	kWh	141.33	146.63	184.3	177.36	179.57	179.79	190.01	195.51	185.83	171.89	149.77	130.51	2032.51
Aporte de energía: ACS	kWh	66.24	59.83	63.36	58.52	54.72	47.38	43.2	43.2	44.59	51.84	58.52	66.24	657.61
Aporte de energía: Ocupación	kWh	68.1	62.54	69.43	67.57	68.1	67.57	69.43	68.1	68.9	68.1	66.25	70.75	814.86
Aporte de energía: Iluminación	kWh	75.6	68.28	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	890.08
Consumo de electricidad	kWh	75.6	68.28	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	890.08
Aporte de energía: Equipamiento	kWh	75.6	68.28	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	75.6	73.16	75.6	73.16	75.6	890.08
Aporte de energía: Ventilación	kWh	0.03	0.03	0.12	0.21	0.29	5.62	23.85	22.75	10.87	0.28	0.09	0.05	64.19
Pérdida de energía: Ventilación	kWh	155.66	133.09	139	131.8	122.66	78.67	54.23	53.35	66.94	122.65	126.63	143.66	1328.33
Número de renovaciones hora: Ventilación e infiltraciones		0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24

8.5 Comparação de Indicadores entre Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus

Os valores referentes aos indicadores do REH foram retirados do “Anexo X - (REH) Ficha de Cálculo”, o qual descreve os cálculos efetuados e do DB-HE do “Anexo XXIII - (DB-HE) Informe de Demanda energética”.

Tabela 58 - Relação de Indicadores entre Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus

Tipo de Indicador	Cypetherm REH		Cypetherm HE Plus	
	Sigla	Valor (kWh/ano)	Sigla	Valor (kWh/año)
Transferência de calor em torno de edifícios	$Q_{sol,i}$	818.40	Q_{op}	3089.23
	$Q_{sol,v}$	619.34	Q_w	2785.32
	$Q_{tr,i}$	1536.54		
	$Q_{tr,v}$	456.63		
	$Q_{tr,i REF}$	2869.21		
	$Q_{sol,i REF}$	1003.36		
Transferência de calor por renovação de ar (ventilação)	$Q_{ve,i}$	493.83	Q_{ve+inf}	1264.14
	$Q_{ve,v}$	176.13		
	$Q_{ve,i REF}$	493.83		

Ganhos térmicos	$Q_{int,i}$	851.28	Q_{equip}	890.08
	$Q_{g,i}$	1669.68	Q_{ilum}	890.08
	$Q_{int,v}$	721.22	Q_{ocup}	814.86
	$Q_{g,v}$	1340.56		
	$Q_{gu,i}$	1168.78		
	$Q_{gu,i REF}$	1112.78		
	$Q_{int,i REF}$	851.28		
	$Q_{g,i REF}$	1854.64		
	$Q_{g,v REF}$	3448.59		
Ganhos com equipamento de aquecimento			Q_H	224.40
Ganhos com equipamento de arrefecimento			Q_C	1044.91
Necessidades anuais de energia	N_{ic}	711.25	Q_{HC}	1269.32
	N_i	2250.26		
	N_{vc}	764.21		
	N_v	1172.48		
Águas quentes sanitárias	Q_A	1069.64	ACS	1381.01
	$Q_{A, REF}$	1188.49		

Tabela 59 - Necessidades nominais anuais globais de energia primária (Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus)

Tipo de Indicador	Cypetherm REH		Cypetherm HE Plus	
	Sigla	Valor (kWhEP/m².ano)	Sigla	Valor (kWhEP/m².ano)
Necessidades nominais anuais globais de energia primária	N_{ic}	68.93	$C_{ep,nren}$	13.17
	N_t	187.21	$C_{ep,tot}$	37.52

8.6 Resumo dos cálculos na simulação de desempenho energético

Mostramos a seguir os resumos apresentados pelos *softwares* Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus para análise energética da edificação de área total igual a 61,58 m², localizada em Alcoutim, no sistema LSF, na busca de uma construção nZeb em Portugal e na Espanha.

Tabela 60 - Resumo da simulação para desempenho energético REH (Cypetherm REH)

N_{ic} (kWh/m².ano)	N_i (kWh/m².ano)	N_{vc} (kWh/m².ano)	N_v (kWh/m².ano)	Q_A (kWh/ano)	Q_{AREF} (kWh/ano)	N_{tc} (kWhEP/m².ano)	N_t (kWhEP/m².ano)	$E_{ren,p}$ (kWh/ano)
13.99	36.54	13.06	19.04	1069.64	1188.49	76.65	187.21	1060.00

Os valores totais da última coluna da tabela 61, foram obtidos pelo somatório de Energia final, Energia primária total e Energia primária de origem não renovável, dividido pela área total do edifício.

Tabela 61 - Resumo da simulação para desempenho energético DB-HE (Cypetherm HE Plus)

	<i>Energía final</i>		<i>Energía primaria total</i>		<i>Energía primaria de origen no renovable</i>		<i>Totais</i>	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	236.39	3.839	282.16	4.582	278.16	4.517	796.71	12.938
Refrigeración	415.68	6.750	553.54	8.989	196.93	3.198	1166.15	18.937
ACS	690.51	11.213	690.50	11.213	0.00	0.000	1381.01	22.426
Ventilación	525.60	8.535	699.92	11.366	248.97	4.043	1474.49	23.944
Total:	1868.18	30.337	2226.12	36.150	724.06	11.758	4818.36	78.246

8.7 Resumo comparativo da simulação de desempenho energético

Desde 05 de maio de 2006 a Espanha adota o *software* LIDER/CALENER (HULC) para os cálculos de EEE, estando na versão 2.0.2186.1160, em 17 de março de 2021. Os processos de cálculo de demanda não são informados, descrevendo apenas o processo de avaliações (EN ISO 13790) das exigências regulamentares e o cumprimento prescritivo (CODIGOTECNICO, 2021).

Os diferentes requisitos estabelecidos para os métodos prescritivos são definidos em relação aos valores de transmitância máxima U, temperaturas interiores máximas e mínimas, requisitos mínimos de ventilação e eficiência da caldeira e dos sistemas de climatização.

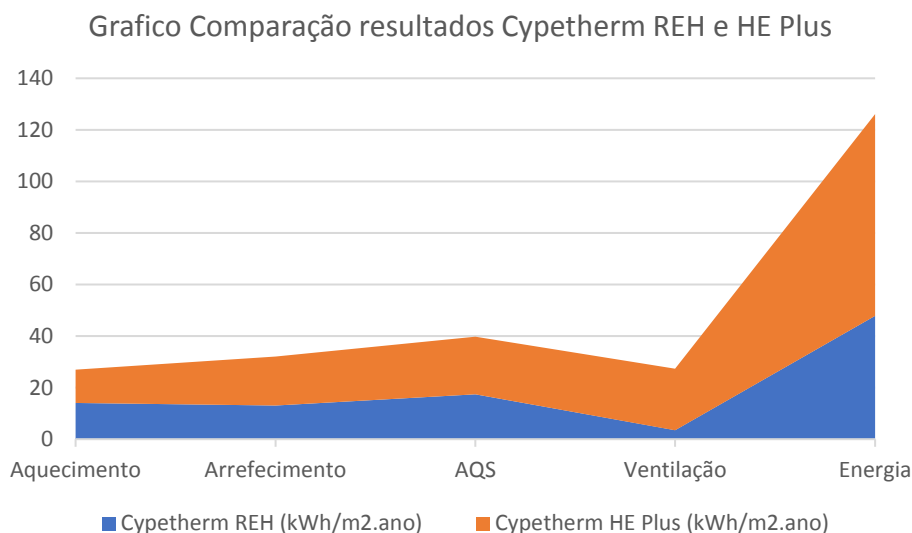
O *software* LIDER/CALENER (*siglas de CALificación ENERgética*) é baseado no S3PAS, desenvolvido pela Universidade de Sevilha nos anos 90. Ele tem grande semelhança nos fundamentos de cálculo (e mesmo na linguagem de definição do edifício) com o DOE-2 (*Building Energy Use and Cost Analysis Tool* - doe2.com) (validado pelo BESTEST - *Building Energy Simulation Test*) (ECOEFICIENTE, 2021).

Para a ventilação do REH, se retira o valor do somatório de $Q_{ve,i}$ com $Q_{ve,v}$.

Tabela 62 - Resumo comparativo dos serviços de simulação de desempenho energético

Serviço	Cypetherm REH (kWh/m ² .ano)	Cypetherm HE Plus (kWh/m ² .ano)
Aquecimento	13.99	12.93
Arrefecimento	13.06	18.94
AQS	17.37	22.42
Ventilação	3.44	23.94
Energia	47.86	78.25

Uma das principais diferenças nos resultados está que o DB-HE 2019 calcula diretamente o uso da energia demandada por ocupação, equipamentos, iluminação, usando valores mensais de demanda, enquanto o REH desenvolve indicadores separados, analisando o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, além de requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios.



8.8 Diferenças encontradas entre o REH e o DB-HE

São muitas as diferenças encontradas entre o REH e o DB-HE, mesmo partindo de uma legislação comum europeia. O DB-HE na versão 2019, não analisa a demanda com relação a um modelo de referência, como comparava nas versões anteriores, e como é analisado pelo REH. O DB-HE tem avaliações de requisitos específicas e tabeladas.

Abaixo as diferenças mais relevantes que encontramos entre o REH e o DB-HE.

Tabela 63 - Diferenças mais relevantes que encontramos entre o REH e o DB-HE

Característica	REH	DB-HE
Ganhos internos	Constantes médias q_{int} 4.00 W/m ²	UNE-EN ISO 52016-1 – Cálculo da Carga interna média (C_{FI})
Ganhos solares	G_{sol} 155.00 kWh/m ² .mês calculados por 4.8 meses	$q_{sol,jul}$ - Irradiación solar media acumulada en el mes de julio – DA DB-HE/1 - Table 20 y 21
Ventilação Mecânica	Baseado no caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m ³ /h] e na Diferença de pressão total do ventilador [Pa], obtenção do W_{vm}/A_p	Por demanda mensal – ASHRAE <i>fundamentals</i> e ISO 52000:1
Metodologias de cálculos	Cálculos de coeficientes de transferência de calor (H) baseados no transmitância térmica dos elementos	UNE-EN ISO 52016-1
Águas quentes sanitárias	Pondera um aumento de temperatura em 35° e uso de energia solar	UNE EN ISO 52000-1
Ganhos internos brutos	Usa o valor L_v 2928.00 Horas para a cálculos de arrefecimento	Inclui a demanda de equipamentos

Energia Útil	Usa o número de graus-dias de aquecimento GD 780.00 °C.dias para os cálculos	Somente usa o GD para definir o zoneamento climática. Porém além do GD de verão, usa-se o GD de inverno.

Conforme Garrigó (2013), nenhum país traduziu literalmente as normas do CEN (*European Committee for Standardization / Comité Européen de Normalisation*) em seus procedimentos nacionais. Isso fica bem evidente ao se comparar os regulamentos de países fronteiriços que possuem índices de CDD e HDD tão similares, porém com metodologias com características tão peculiares.

8.9 Fator de conversão de emissão de CO₂ para energia primária - Portugal e Espanha

O CO₂ é também contabilizado, de forma a caracterizar as emissões associadas ao consumo de energia da edificação e/ou da parte autônoma.

Tabela 64 - Fatores de conversão de kgCO₂/kWh E. Primaria de Portugal e da Espanha

Fonte de energia/ Fator de conversão	Despacho n.º 15793-D/2013	RITE	
	kgCO ₂ /kWh E. Primaria	kgCO ₂ /kWh E. Final	kWh E. Primaria/kWh E. Final
Eletricidade	0,144	0,357	2,403
Gasóleo	0,267	0,311	0,311
Gás Natural	0,202	0,252	1,195
GPL canalizado (propano)	0,170	0,254	1,204
GPL garrafas	0,170	-	-
Renovável	0,0	0,0	1
Rede urbana de frio e calor da CLIMAESPAÇO	0,006	-	-
Carvão	-	0,472	1,084
Biomassa não densificada	-	0,018	1,037
Biomassa densificada (peles)	-	0,018	1,113

8.10 Processo Português de Certificação energética das edificações

Em Portugal o Despacho n.º 15793-I/2013 estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente (kWh/m².ano), as necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS (kWh/ano) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhEP/(m².ano)).

A emissão do Certificado Energético é realizada pela SCE, através das qualificações dos Peritos Qualificados (PQ-I para o REH e PQ-II para o REC) - que têm a responsabilidade da validação energética dos edifícios e da emissão do Certificado Energético -, e dos Técnicos de Instalação e Manutenção (TIM-II para potências instaladas até 100 kW e TIM-III para potências instaladas

superior a 100 kW) de equipamentos e sistemas nos edifícios. Eles coordenam ou executam atividades de planeamento, verificação, gestão da utilização de energia, instalação e manutenção relativa a edifícios e sistemas técnicos. Ambos são profissionais independentes, reconhecidos pela ADENE, que atuam na Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013).

A etiqueta expressa o Rácio de Classe Energética (que é adimensional) equivale ao valor das necessidades nominais de energia primária de cálculo, dividido pelo valor das necessidades nominais de energia primária de cálculo, além de demais informações urbanas.

Além da classe energética, com o certificado energético é possível obter as seguintes informações do imóvel: Quais as componentes e o seu desempenho, quais as medidas de melhoria para reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto, emissões de CO₂, perdas e ganhas de calor da habitação, entre outros.

O método de certificação energética de Portugal consiste na comparação do edifício em estudo com um edifício de referência, situado na mesma área geográfica e com formato semelhante

8.11 Processo Espanhol de Certificação energética das edificações

O “*Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética*”. é uma Resolução conjunta do “*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*” e o “*Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*”. Com as condições técnicas dos procedimentos de validação da EEE, descreve a base de valores padronizados para os coeficientes usados nos simuladores BEM na Espanha, que utilizam a UNE-EN ISO 52016-1 (*Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures*) e a ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 (*Standard Method Of Test For The Evaluation Of Building Energy Analysis Computer Programs - BESTEST*), como referência.

A certificação de eficiência energética é realizada pelos *softwares*: “*Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)*”, Cypetherm HE Plus e SG SAVE, sendo o procedimento simplificado através do CE3, CE3X e CERMA (ENERGI.GOV.ES, 2021).

No “*Documento Reconocido*”, temos as condições de cálculo de solicitações externas: zona climática, temperatura seca, umidade relativa, irradiância solar no plano horizontal, temperatura efetiva, irradiância solar direta, irradiância solar difusa, umidade específica, azimute solar e zênite solar, além das solicitações interiores e condições operacionais, com as condições operacionais e perfil de utilização para espaços de uso não residencial, por tempo em horas de ocupação da habitação, por temperatura alto (°C), temperatura baixo (°C), ocupação sensível (W/m²), ocupação latente (W/m²), iluminação (%), equipamento (W/m²) e ventilação (%).

Ainda nas tabelas do “*Documento Reconocido*”, temos as condições de limite em superfícies internas e externas, com as tabelas para condições limites das superfícies interiores e exteriores, a transmissão e radiação das paredes opacas e do solo, a transmissão e radiação dos vãos envidraçados, a renovação de ar (ventilação e infiltrações), os ganhos com equipamentos de

climatização e sistemas de energia para os cálculos do edifício de referência, e demais coeficientes de passos. Porém não contem as fórmulas.

Na Espanha, o profissional habilitado para emissão do certificado de eficiência energética, está descrito no Real Decreto 235/2013. O profissional deve realizar projetos de instalações térmicas expressos na LOE (*Ley Orgánica de Educación*) ou na “*Ley de Ordenación de la Edificación*”.

Os certificados energéticos também podem ser emitidos por aqueles que comprovem qualificação profissional, de acordo com as condições do item 4º do Real Decreto 235/2016, entre elas algumas engenharias e a arquitetura.

A etiqueta expressa o consumo de energia kWh/m².año e a emissão de kgCO₂/m².año, além de demais informações urbanas.

8.12 Classificação Energética obtida em Portugal e Espanha pela simulação

O certificado energético é um documento digital que informa o consumidor sobre o balanço térmico da edificação.

Tabela 65 - Classificação Energética obtida para Portugal e para Espanha pela simulação (Cypetherm REH e HE Plus)

Cypetherm REH (R = 0.41)	Cypetherm HE Plus
Adimensional	(kgCO ₂ Whm².año)
CLASSE ENERGETICA	
A+	< 4,9 A 2,18 A
A	4,9-9,4 B
B	9,4-15,8 C
B-	15,8-25,3 D
C	25,3-47,8 E
D	47,8-52,1 F
E	≥ 52,1 G
F	
	(kWh/m².año)
	< 21,1 A 11,76 A
	21,1-40,1 B
	40,1-67,8 C
	67,8-108,6 D
	108,6-196,1 E
	196,1-213,8 F
	≥ 213,8 G

9. CONCLUSÃO

Com o aumento constante do uso e do custo da energia e as crescentes preocupações ambientais, a demanda por edifícios sustentáveis com impacto ambiental mínimo é cada dia mais importante. As decisões mais eficazes em relação à sustentabilidade e produção, são feitas nos estágios iniciais do projeto e da pré-construção.

Nesta simulação, utilizamos os *softwares* de análise de desempenho energético da edificação (Cypetherm REH de Portugal e Cypetherm HE Plus da Espanha), na comparação por simulação computacional entre os resultados encontrados no contexto da utilização do LSF – por parte pela precisão industrial dos materiais utilizados – e do BIM – pela metodologia de modelagem da informação digital, criando um cenário ideal para Construção 4.0. Isso nos auxiliou na realização de múltiplas análises complexas de desempenho energético da edificação, em busca de um projeto de construção sustentável e otimizado, com simulações de cálculos rápidos, com fluidez das parametrizações e interoperabilidade das informações.

Nos *softwares* Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus, mostramos as zonas climáticas e os diferentes elementos presentes na construção, juntamente com seus materiais, quantidades, coeficientes de transmissão, sistema das envolventes (paredes externas, pisos, tetos e vãos) e o sistema de partição interna, em um ambiente parametrizado e 3D, integrado ao protocolo IFC e a metodologia *openBIM*. Estes fizeram os cálculos respectivos para regulamentos REH, de Portugal, DB-HE da Espanha (no âmbito unifamiliar) e apresentaram várias características comuns, conforme previsto pela Diretiva 2002/91/CE e para Diretiva 2010/31/UE.

Visualizando claramente que o maior ganho na utilização do BIM, associado ao LSF, está na fase de planeamento da obra, pela representação visual das informações geradas nas simulações do BEM. E que com a múltiplos simulações e matérias tecnológicos, o maior ganho na aplicação de eficiência energética da edificação, é obtido com o bem-estar dos ocupantes e com a reduções em gastos por €/kWh, no decorrer do ciclo de vida da construção.

Dessa forma, em ambos os regulamentos temos uma robustez energética de validação complexa e eficaz, com resultados muito próximos nos sistemas utilizados para simulação energética. No entanto, esclarecemos que os algoritmos utilizados pelos *softwares* são desconhecidos (*closed source* – código fechado), limitando-se os *inputs* e *outputs*, pelos desenvolvedores dos programas. Assim, não temos como saber exatamente qual o procedimento de cálculo executado para obtenção dos valores resultantes e alguns dos coeficientes de passos usados.

O horizonte que se descortinou foi de uma pequena luz para criações e estudos de modelos de Edifícios com Necessidades Energéticas Quase Nulas (NZEB - *Nearly Zero-Energy Building* | EECN - *Edificios Energía Casi Nula*), em Portugal e na Espanha, na Construção 4.0, através da estrutural LSF e a metodologia BIM, em apoio a projetos de cooperação transfronteiriça na União Europeia.

Para desenvolvimento futuros, com o aumento de processamentos dos computadores pessoais e acesso mundial a uma conexão de alta velocidade à internet, a busca por estudos mais detalhados no conceito do BIM em sua amplitude dos “prédios inteligentes”, *smartbuilding*, se

faz evidente na otimização do *Facility Management* com mais *inputs* nos LOG e LOI, podendo ter informações digitais para diversas simulações de EEE, antes da implantação física na cidade.

Também o uso de materiais com tecnologias mais eficazes de baixo custo, sustentáveis e industrializáveis no sistema LSF, associadas a metodologia BIM, tendem a gerar estudos para a Construção 4.0 na união da engenharia civil, engenharia mecânica, engenharia elétrica, associada a engenharia de softwares e a engenharia de produção, em construções modulares de alta eficiência energética.

Uma síntese de todo o processo pode ser encontrada no “Anexo XXIV - Resumo do estudo de caso”, o qual descreve os principais desafios, as limitações, o método de análise, o processo de análise e o resumo da simulação computacional do estudo de caso.

Mas em um futuro plausível, porém ainda muito sonhado, poderemos ter um regulamento mundial de eficiência energética, que ampare através de um conceito de materiais comuns (LSF ou outro) e uma metodologia digital de integração das disciplinas envolvidas na construção (BIM ou outra), o bem-estar da humanidade e do planeta, em um contexto de *smartcity* integrado na eficiência energética das edificações no mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 50001STORE (2020). 50001store.com/articles/energy-performance-indicator-enpi/. *What is an Energy Performance Indicator (EnPI)?* (página internet).
- ABOUT OMNICLASS (2021). omniclass.org/about - OCCS *Development Committee Secretariat*. (página internet).
- ACEDUR (2021) acedur.com - Acedur Casas de Acero - Empresa constructora especializada en Steel Framing (página internet)
- ACTITUDECOLOGICA (2020). actitudecologica.com/cop-eer-scop-seer-significado-y-utilidad *COP, EER, SCOP y SEER: significado y utilidad de estos parámetros*. (página internet). Espanha
- ALACERO (2021). alacero.org - *Asociación Latinoamericana del Acero* (página internet). Argentina
- Alan Meier, Thomas Olofsson e Roberto Lamberts (2002). *What Is an Energy-Efficient Building?* IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
- AIA (Instituto Americano de Arquitectos) *E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit*
- ASHRAE Handbook (2013) - Fundamentals SI Edition - American society of Heating, Refrigerating and Air-Conditionaing Engineers, Inc
- Bassam A. Burgan e Michael R. Sansom (2006). *Sustainable steel construction*. *Journal of Constructional Steel Research*. Volume 62, Issue 11, Pages 1178-1183
- Baptista (2005). S.M.. *Racionalização e Industrialização da Construção Civil*. Universidade Federal de São Carlos.
- BIMERR RENOVATION 4.0 (2021). bimerr.eu - *ICT-enabled Renovation 4.0 framework* (página internet)
- BIMSERVER (2021) bimserver.center - Tecnologia Open BIM (página internet)
- Brumana, R., S. Della Torre, M. Previtali, L. Barazzetti, L. Cantini, D. Oreni e F. Banfi(2018). *Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention — the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)*. *Applied Geomatics*. Volume 12
- BUILDIN(2020). buildin.com.br/construcao-4-0 - Buildin Construção & Informação (página internet oficial), Brasil.
- BUILDINGSMART (2020) - technical.buildingsmart.org/standards/ifc - *buildingSMART International*. (página internet)
- Burstrand, H. (1998). *Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing*. *Journal of Constructional Steel Research*. Volume 46, Issues 1–3, Pages 183-186

Caldas, Lucas Rosse e Salgado, Mônica Santos (2017) - Gestão da qualidade aplicada ao processo de projeto de avaliação do ciclo de vida (ACV) para edificações - Conference: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído At: João Pessoa

Carlos Eduardo Marmorato Gomes, André Luiz Vivan, E.P. Sichieri e José Carlos Paliari (2013). *Light Steel Frame*: Construção Industrializada a Seco para Habitação Popular – Práticas Sustentáveis. Conference: Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis

CBCA (2003). Detalhes Construtivos para Construções em Steel Framing - Details - CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço

CBIC (2016) Fundamentos BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção. 1 v.

Certificados Energéticos (2021) - sce.pt - Certificados Energéticos em Portugal - ADENE - Agência para a Energia (página internet)

Chung-Suk Cho, Don Chen, Sungkwon Woo (2011). *Building Information Modeling (BIM)-Based Design of Energy Efficient Buildings*. I.A.A.R.C. Pages 1079-1084

CODIGOTECNICO (2021)
codigotecnico.org/Programas/HerramientaUnificadaLIDERCALENER.html - Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) (página internet)

CYPETHERM BRIDGES (2020). cypetherm-bridges.en.cype.com - *Application conceived to determine the thermal transmittance in linear thermal bridges*

Cypetherm HE Plus (2018). Manual de usuário - Open BIM

Cypetherm REH (2018). Exemplo prático - Open BIM - Manual do utilizador

Crasto (2005), R. C. M. de. Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

DB-HE (2019). Ahorro de energía - Ministerio de Fomento. Madrid

DB-HE 4 (2005). *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria* – Madrid

DB-HS (2019). *Documento Básico Salubridad - Ministerio de Fomento - Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda - Secretaría General de Vivienda - Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo*

DIAL (2021) dialux.com - DIAL GmbH - German Institute for Applied Lighting Technology (página internet)

DIRETIVA 2009/28/CE (2009). Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009

Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios (2020) - Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética -

Resolución conjunta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Duygu Utkucu e Hatice Söze(2020). *Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort*. Automation in Construction. Volume 116

ECOEFIICIENTE (2021) ecoeiciente.es/por-que-energyplus-nunca-deberia-ser-alternativo-a-lider-y-calener - *Por qué EnergyPlus nunca debería ser alternativo a LIDER y CALENER*, por Germán Campos - aurea consulting - DesignBuilder Distribuidor Oficial en España (página internet)

Roque, Eduardo e Santos, Paulo (2017). *The Effectiveness of Thermal Insulation in Lightweight Steel-Framed Walls with Respect to Its Position*. Academic Editor: Ambrose Dadoo

Edifícios Hoteleiros (2018) Cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios - Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG e ADENE

ENERGI.GOV.ES (2021) energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica - *Gobierno de España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* (página internet) Espanha

ENERGYPLUS (2021) energyplus.net - *Building energy simulation program* (página internet) USA

ENERGY STATISTICS (2021) ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_chdd_esms.htm - Energy statistics - cooling and heating degree days (página internet)

ESEficiencia (2021). <https://www.eseficiencia.es/2020/10/15/rehabilitacion-pobreza-energetica-objetivos-estrategia-renovation-wave> - ESEficiencia - *Portal de Eficiencia y Servicios Energéticos* (página internet).

Ö Eren (2013). *A comparison with light steel frame constructional building systems for housing*. World Appl. Sci. J. 25, 354–368.

Eric Forcael, Alejandro Martínez-Rocamora, Javier Sepúlveda-Morales, Rodrigo García-Alvarado, Alberto Nope-Bernal e Francisco Leighton (2020). *Behavior and Performance of BIM Users in a Collaborative Work Environment*. Appl. Sci. 10(6), 2199; MDPI

Erik Delarue, Hans Lamberts e William D’haeseleer(2007). *Simulating greenhouse gas (GHG) allowance cost and GHG emission reduction in Western Europe*. Energy Volume 32, Issue 8, Pages 1299-1309

ETYMON (2020) etymonline.com/word/energy. *Online Etymology Dictionary* (página internet). USA

EU 2030 (2021) https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/national-energy-efficiency-action-plans_en?redir=1#national-plans-for-the-eu-2030-target *National plans for the EU 2030 target* (página internet)

- EUROPEAN COMMISSION (2016). europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_3986 - *Putting energy efficiency first: consuming better, getting cleaner*. (página internet)
- European Construction Sector Observatory Building Information Modelling in the EU construction sector (2019) - Trend Paper – BIM in the EU construction sector - European Construction Sector Observatory*
- ExcEED (2020) https://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?artid=52968 - *Construir desde de la experiencia* (página internet)
- ESMARTCITY (2021) esmartcity.es/2021/04/06/proyecto-europeo-skills4cities-definira-competencias-necesarias-gestion-smart-cities?utm_source=Grupo+Tecma+Red+-+Newsletters&utm_campaign=fc36cf0c1f-NL-DIARIO-ESMARTCITY - *El proyecto europeo Skills4Cities definirá las competencias necesarias para la gestión de smart cities* (página internet)
- FOOTPRINT (2021) footprintnetwork.org - *Global Footprint Network* (página internet)
- FRAMECAD (2021). framecad.com - *El futuro de la construcción - La construcción con acero conformado en frío* (página internet)
- Francisco Javier Montiel-Santiago, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez e Julio Terrados-Cepeda (2020). *Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation*. Sustainability, 12(14), 5731; MDPI
- FAUUSP (2018) Desempenho Acústico, Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Departamento de Tecnologia da Arquitetura
- Francisco Villena, Tatiana García-Segura e Eugenio Pellicer (2020). *Drivers of Innovation Using BIM in Architecture, Engineering, and Construction Firms*. Construction Research Congress 2020
- FUTURENG (2021) futureng.pt/limitacoes-do-lsf - Limitações do LSF (página internet)
- gbXML (2021) gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML.html - *Green Building XML schema, or "gbXML"*. (página internet) USA
- Garrigós, Antonio Galiano (2013) - *Análisis comparado de las metodologías de evaluación y certificación del comportamiento energético de los edificios en la unión europea* - *Scuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante*
- Guía de aplicación DB-HE 2019 EJEMPLO I* (2019) - CTE - *Ministério de Transporte Movilidad y Agenda Urbana - Gobierno de España*
- Guia prático para medições de ruído ambiente (2011) - Agência Portuguesa do Ambiente - Amadora
- GUIA SCE 1 (2020) – Avaliação de Requisitos (REH) – ADENE
- GUIA SCE 2 (2020) – Indicadores de desempenho (REH) - ADENE

- GUIA SCE 3 (2020) – Cálculo de Indicadores de Desempenho Energético (REH) - ADENE
- GUIA SCE 4 (2020) – Conceitos e Definições (REH) - ADENE
- GUIA SCE 5 (2020) – Parâmetros de Cálculo – ADENE
- GUIA SCE 6 (2020) – Guia SCE – Recolha de informação (REH) – ADENE
- HEXAGON (2020) [youtube.com/watch?v=BBNbpq24m9o](https://www.youtube.com/watch?v=BBNbpq24m9o) The Rise of Construction 4.0 (TV302) (página internet)
- HULC (2020) *Herramienta unificada LIDER-CALENER 2.0.2080.1160* – Madrid
- IFC4 (2021) IFC4 Add2 – 2018 - ecobject.com - *Estándar de Creación de Objetos BIM* – eCOB (página internet)
- IND40 (2020). industria40.ind.br/artigo/19642-cinco-tecnologias-que-estao-revolucionando-a-construcao-civil-ind4.0-Manufatura-Avançada, (página internet) Brasil
- IDEA (2011) *Escala de calificación energética para edificios existentes*. Madrid - IDEA
- IDEA 1 (2009) *Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción*. Madrid - IDEA
- IDEA 2 (2009) *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios*. Madrid – IDEA
- Iluminación de Edificios (2005) Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios - Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)*
- INDUSTRIA40 (2020). <http://www.industria40.gov.br/>. Agenda brasileira para a Indústria 4.0 - ABDI - Ministério da Indústria, Comércio e Serviço (página internet oficial), Brasil.
- INSTITUTO AÇO BRASIL (2021). acobrasil.org.br. LSF: *Light Steel Framing* 2021 (página internet oficial), Brasil.
- ISO 80000-1 (2009) - *Quantities and units — Part 1: General*
- J. Konopka e W. Trybula(1996). *Overall equipment effectiveness (OEE) and cost measurement [semiconductor manufacturing]*, *EEE/CHMT(CPMT) International Electronics Manufacturing Technology Symposium*
- Kemal Akkaya, Ismail Guvenc, Ramazan Aygun, Nezih Pala e Abdullah Kadri (2015). *IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings*. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*
- LADYBUG (2021) - ladybug.tools - *Interfaces to a host of validated simulation engines* (página internet oficial)
- Laustsen, Jens (2008) *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings* - IEA Information Paper - in support of the G8 plan of action - international energy agency (IEA) – Pág 33.

Kendrick, Christopher Charles, Ogden, Raymond e Wang, shaun Xiaoxin (2012) - *Thermal mass in new build UK housing: A comparison of structural systems in a future weather scenario* - ResearchGate GmbH

Kokke, A. Santiago, Maria Sarmanho, A. e Crasto, R. C.(2012). *Steel Framing*: Arquitetura, 2ª. Edição - Instituto Aço Brasil - Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA - Rio de Janeiro

Zeeb, Hajo e Shannoun , Ferid (2016) Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública / editad – São Paulo, SP : 1ª Edição

Martins, C., M. Gonçalves, P. Santos, J.J. Costa, N. Soares, L. Simões da Silva (2017) Determinação experimental do coeficiente de transmissão térmica de uma parede com estrutura leve em aço enformado a frio. Proc. of the XI Congresso de Construção Metálica e Mista, Parque Coimbra, Coimbra, Portugal, 23-24 pp. 199-208.

Maurice Murphy, Eugene Mcgovern e S. Pavía(2009). *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

Medved, Sašo, Domjan, Suzana, Arkar, Ciril (2019). Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings - Design and Evaluation Methods - Book Series: Springer Tracts in Civil Engineering

METODOLOGÍA BIM (2021) conectaempleo-formacion.fundaciontelefonica.com Curso Metodología BIM del Nanogrado Construcción 4.0 (página internet)

Moret, António R., Canha, António P. e Marta, Ana B. (2009). *Térmica de edifícios*. Edição Electronica Ltda. Editora ORION

Nima Usefi e Hamid Ronagh (2020). *Seismic characteristics of hybrid cold-formed steel wall panels*. Structures. Volume 27, pages 718-731

OBSERVATÓRIO (2021) - observatoriodaenergia.pt OBSERVATÓRIO DA ENERGIA (página internet)

OXFORD (2021) languages.oup.com/google-dictionary-pt - *Oxford Languages and Google* (página internet)

Paulo Santos (2017). *Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings*. Intechopen

PASSIVEHOUSE (2020) passivehouse.com *Passivhaus Institu* (página internet) Alemanha

Paris A. Fokaides, Rasa Apanaviciene, Jurgita Černeckiene, Andrius Jurelionis, Egle Klumbyte, Vilma Kriauciunaite-Neklejonoviene, Darius Pupeikis, Donatas Rekus, Jolanta Sadauskiene, Lina Seduikyte, Laura Stasiulienė, Juozas Vaiciunas, Rokas Valancius, Tadas Ždankus - *Research Challenges and Advancements in the field of Sustainable Energy Technologies in the Built Environment - Sustainability 2020, 12(20), 8417 - Advanced Construction and Architecture 2020*

Radioactivity (2021) <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation> - Radioactivity Environmental Monitoring - European Atlas of Natural Radiation (página internet)

REMON (2021) remon.jrc.ec.europa.eu - REMon - EUropean Radiological Data Exchange Platform - RADIOACTIVITY ENVIRONMENTAL MONITORING (página internet)

RITE (2013) *Reglamento de instalaciones termicas en los edificios*. Madrid

RSECE (2006) Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - Decreto-Lei n.º 79/2006

Rodrigues (2006). *Steel Framing: Engenharia* - Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço 2006

Salman Azhar and Justin Brown, Rizwan Farooqui (2009). *BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software*. Computer Science

Saffet Akdag e Hakan Yıldırım (2020). *Toward a sustainable mitigation approach of energy efficiency to greenhouse gas emissions in the European countries*. RESEARCH ARTICLE| VOLUME 6, ISSUE 3, E03396

Soares, N., P. Santos, H. Gervásio, J.J. Costa e L. Simões da Silva (2017). *Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed (LSF) construction: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 78, Pages 194-209

Stathis Eleftheriadis, Dejan Mumovic e Paul Greening(2017). *Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities*. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 67, January 2017, Pages 811-825

STEELANDCOAL (2019) europa.eu/newsroom/events/steel-and-coal-new-perspective-%E2%80%93-research-and-innovation-action_en - *Steel and coal: a new perspective – Research and innovation in action* (página internet)

TecniSteel (2021). tecnisteel.net - *División Tecnisa Internacional TecniSteel* (página internet)

Toshiba (2021) toshiba-aire.es/multisplit - Toshiba calefacción & aire acondicionado (página internet)

Usefi, N. , P. Sharafi, M. Mortazavi, H. Ronagh e B. Samalia(2020). *Structural performance and sustainability assessment of hybrid-cold formed modular steel frame*. Journal of Building Engineering.

Vanessa Tavares, Nuno Lacerda e Fausto Freire (2019). *Embodied energy and greenhouse gas emissions analysis of a prefabricated modular house: The “Moby” case study*. Journal of Cleaner Production Volume 212, 1, Pages 1044-1053

VENEO (2021). veneo.es - Veneo – Ventanas de PVC (página internet)

VULCANO (2021) vulcano.pt - Instituto de Formação Vulcano (página internet)

Xun Xu, Ling Ma e Lieyun Ding(2014). *A Framework for BIM-Enabled Life-Cycle Information Management of Construction Project*. International Journal of Advanced Robotic Systems

ANEXOS

Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPERTHERM HE PLUS

Anexo II – Pontes térmicas dos elementos em LSF

Anexo III- Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico

Anexo IV - PANORAMA GERAL SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA EUROPA

Anexo IX - Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS

Anexo V - Orçamento Fachada leve de placas Sistema Placotherm Integra PLACO

Anexo VI – Detalhamento do sistema light steel frame construction com isolamento térmico

Anexo VII - Certificado IGLO ENERGY CLASSIC EN

Anexo VIII - Tilt and slide balcony doors Iglo Energy

Anexo X - (REH) Ficha de Cálculo

Anexo XI - (REH) Resumo de desempenho energético

Anexo XII - (REH) Cálculo dos fatores de obstrução

Anexo XIII - (REH) Capacidade térmica

Anexo XIV - (REH) Descrição de materiais e elementos construtivos

Anexo XIX - (REH) Cobertura - Cálculo do factor de redução

Anexo XV - (REH) Descrição das pontes térmicas lineares

Anexo XVI - (REH) Verificação de formação de condensações

Anexo XVII - (REH) Cava - Cálculo do factor de redução

Anexo XVIII - (REH) Cava - Descrição das pontes térmicas lineares

Anexo XVIII - (REH) Cava - Descrição de materiais e elementos construtivos

Anexo XX - (REH) Cobertura - Descrição das pontes térmicas lineares

Anexo XXI - (REH) Cobertura - Descrição de materiais e elementos construtivos

Anexo XXII - (DB-HE) Exigencia básica HE1

Anexo XXIII - (DB-HE) Informe de Demanda energetica

Anexo XXIV - (DB-HE) Exigencia basica HE0

Anexo XXV - (DB-HE) Calificacion energética del edificio

Anexo XXVI - (DB-HE) Descripción de materiales y elementos constructivos

Anexo XXVII - (DB-HE) Cálculo del factor de reducción

Anexo XXVIII - (DB-HE) Confort interior

Anexo XXVIX - (DB-HE) Condensaciones

Anexo XXX - (DB-HE) Puentes térmicas lineales

Anexo XXXI - Aprofundamento nas comparações de análise de eficiência energética entre Portugal e Espanha

Anexo XXXII - Resumo do estudo de caso

Anexo XXXIII - BIM Studio

Anexo XXXIV- (REH) Cava - Descrição de materiais e elementos construtivos

Anexo XXXV- (REH) Nova Classe de Inércia Térmica



Anexo I - Estudo de Caso
Simulação computacional CYPETHERM REH e
CYPERTHERM HE PLUS



Dean Delmo de Freitas Oliveira Mousinho

Orientadores: Eduardo Natividade e Ivan Simões

Coimbra, março de 2021

ÍNDICE

1. COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL REH E DB-HE	9
1.1. Cypetherm REH.....	9
1.2. Cypetherm HE Plus	10
2. CENÁRIO DE COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL	10
2.1. Considerações iniciais para os requisitos REH e DB-HE	11
2.2. Tipo de morada.....	11
2.3. Zoneamento Climático Portugal.....	13
2.3.1. Localização da Zona Climática	14
2.4. Parametrização Climática dos Cypetherm.....	17
3. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DO MODELO	21
3.1. Seleção da estrutura construtiva	21
3.2. Geometria	22
3.3. Modelagem da edificação - IFC	22
3.4. Definição dos elementos construtivos.....	25
3.4.1. Elementos opacos.....	25
3.4.2. Paredes Exteriores E-PD1-1.....	25
3.4.3. Paredes Interiores.....	27
3.4.4. Paredes Enterradas - S-PDE1-0.....	30
3.4.5. Pavimentos térreos - S-PVE0-1	32
3.4.6. Pavimentos entrepisos.....	33
3.4.7. Cobertura - E-CO2-1.....	37
3.4.8. Interoperabilidade BIM	38
3.5. Vãos envidraçados verticais.....	39

3.5.1. Vão opacos	39
3.5.2. Vão envidraçados verticais - Iglo Energy Classic PSK	39
3.6. Pontes lineares	44
4. SISTEMA DE CONDICIONAMENTO E PREPARAÇÃO DE AQS	47
4.1. Necessidade de AQS	49
5. Equipamentos	50
5.1. Condições operacionais e conforto interior	55
6. INÉRCIA TÉRMICA	55
7. ESTRUTURA.....	57
7.1. Coeficiente de redução de perdas	57
7.1.1. Cypetherm HE Plus	58
7.1.2. Cypetherm REH.....	58
8. RESULTADOS DA CONDENSAÇÕES	59
9. ARVORE DE ELEMENTOS CYPETHERM	60
10. CONCLUSÃO Cypetherm REH E Cypetherm HE Plus	62

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrição da localização da Obra.....	11
Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno	13
Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.....	13
Tabela 4 - Relatório de fornecimento de Energia Solar Térmica.....	49

Índice de Figuras

Figura 1 - Tipo de certificação REH (Cypetherm REH)	12
Figura 2 - Tipo de certificação DB-HE (Cypetherm HE Plus)	13
Figura 3 - Local da construção em Alcoutim a 200 m de Sanlúcar com 30 m de Altitude (Google Earth).....	13
<i>Figura 4 - Estatísticas Climáticas Alcoutim (SCE.CLIMA)</i>	<i>15</i>
Figura 5 - Estações de referencia Alcoutim (SCE.CLIMA)	15
<i>Figura 6 - Resumo Climáticas - Alcoutim (SCE.CLIMA)</i>	<i>15</i>
Figura 7 - Dados del empazamiento - Localización (Cypetherm HE Plus 2021.d)	17
Figura 8 - Definição de dados climáticos de Alcoutim – Faro – Portugal no Cypetherm REH (Cypetherm REH 2021.d)	18
Figura 9 - Tela Dados del empazamiento - Parametrizado HE Plus com os dados climáticos de Alcoutim (Cypetherm HE Plus 2021.b)	19
Figura 10 - Condensaciones – Condensaciones em Zonas (Cypetherm HE Plus 2021.b)	20
Figura 11 - Condensaciones – Condensaciones em Zonas (Cypetherm REH 2021.b)	20
Figura 12 - Zona climática según irradiación solar (Cypetherm HE Plus 2021.b)	21
Figura 13 - Interface IFC Builder (IFC Builder)	23
Figura 14 - Modelo 3D do caso de Estudo (builder ifc 2021.c)	23
Figura 15 - Seleção de Projeto Cypetherm REH (Cypetherm REH).....	24
Figura 16 - Seleção do Projeto Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	24
Figura 17 - Parametrização do detalhe construtivo Poliestireno expandido (EPS) (Cypetherm REH).....	25
Figura 18 - Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm REH).....	26
Figura 19 - Seção da Parede da Fachada E-PD1-1	26
Figura 20 - Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm HE Plus)	27
Figura 21 -Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm REH).....	28
Figura 22 - Seção da Parede da interna I-PD1-1	28
Figura 23 - Parametrização dos Elementos construtivos da parede interna I-PD1-2 (Cypetherm REH).....	29

Figura 24 - Seção da Parede da interna I-PD1-2	30
Figura 25 - Parametrização dos Elementos construtivos da parede enterrada S-PDE1-0 (Cypetherm REH)	30
Figura 26 - Seção da Parede da enterrada S-PDE1-0	31
Figura 27 - Parametrização dos Elementos construtivos do pavimento térreo S-PVE0-1 (Cypetherm REH)	32
Figura 28 - Seção do pavimento térreo S-PVE0-1	32
Figura 29 - Camadas pavimento térreo S-PVE0-1	33
Figura 30 - Parametrização dos Elementos construtivos do entre piso I-PV2-1 (Cypetherm REH)	33
Figura 31 - Seção do entre piso I-PV2-1	34
Figura 32 - Parametrização dos Elementos construtivos do pavimento térreo I-PV2-1 (Cypetherm REH)	35
Figura 33 - Seção do pavimento térreo I-PV2-1	36
Figura 34 -Parametrização dos Elementos construtivos cobertura E-CO2-1 (Cypetherm REH)	37
Figura 35 - Seção da cobertura E-CO2-1	38
<i>Figura 36 - Ângulos sombreamento por elementos horizontais ou vertical (Cypetherm REH)</i>	<i>39</i>
Figura 37 - Aplicação Ângulos sombreamento por elementos horizontais ou vertical (Cypetherm REH)	40
Figura 38 - Parametrização do vão envidraçado (Cypetherm REH)	41
Figura 39 - Parametrização do vão envidraçado (Cypetherm HE Plus)	42
<i>Figura 40 - Parametrização das sombras do vão envidraçado E-VE1-S1 (Cypetherm HE Plus)</i>	<i>42</i>
Figura 41 - Parametrização das sombras do vão envidraçado E-VE1-O1 (Cypetherm HE Plus)	43
Figura 42 - Parametrização das sombras do vão envidraçado E-VE1-L1 (Cypetherm HE Plus)	43
Figura 43 - Parametrização da fração opaca do vão envidraçado (Cypetherm HE Plus)	44
Figura 44 - Parametrização das persianas do vão envidraçado (Cypetherm HE Plus)	44
Figura 45 - Tabela configurações de pontes térmicas (Cypetherm REH)	45

Figura 46 - Tabela configurações de pontes térmicas (Cypetherm HE Plus)	45
<i>Figura 47 - Calculo automático do Cypetherm REH das Pontes térmicas</i>	<i>45</i>
Figura 48 - Calculo automático do Cypetherm HE das Pontes térmicas	46
Figura 49 - Encolha manual parametrizada para as pontes térmicas Cypetherm REH	46
Figura 50 - Valores utilizados para ponte térmica Cypetherm HE Plus	46
Figura 51 -Pontes térmicas usadas no Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus(Cypetherm REH).....	47
Figura 52 - Ventilação por espaço (Cypetherm HE Plus)	48
Figura 53 - Parametrização sistema de ventilação Cypetherm REH (Cypetherm REH)	49
Figura 54 - Parametrização sistema de ventilação Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	49
Figura 55 - Parametrização Energia Solar térmica para AQS Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	50
Figura 56 - Parametrização AQS Solar Térmica - Bomba de Calor Cypetherm REH	51
Figura 57 - Parametrização AQS Solar Térmica - Bomba de Calor Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	51
Figura 58 - Parametrização Energia Solar térmica Cypetherm REH.....	52
Figura 59 - Parametrização Energia Solar térmica Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	53
Figura 60 - Parametrização do Aquecimento Cypetherm REH (Cypetherm REH)	54
Figura 61 - Parametrização do Arrefecimento Cypetherm REH (Cypetherm REH)....	54
Figura 62 - Parametrização do Arrefecimento e Aquecimento Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)	55
Figura 63 - Correção manual inercia térmica para FRACA	57
Figura 64 - Recinto não habitável no Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus).....	57
Figura 65 - Zona não habitável – Cava e Cobertura (Cypetherm HE Plus)	58
Figura 66 - Zona não habitável – Cobertura (Cypetherm REH)	58
Figura 67 - Zona não habitável – Cava (Cypetherm REH)	58
Figura 68 - Zona por defeito do Cypetherm REH	59
Figura 69 - Gráfico de pressão de condensações	59
Figura 70 - Estrutura Cypetherm HE Plus	61
Figura 71 -Estrutura Cypetherm REH.....	61

Figura 72 - Préconfiguração Cypetherm REH dos Metadatos IFC Builder	62

1. COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL REH E DB-HE

1.1. Cypetherm REH

O programa Cypetherm REH permite fazer a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação de acordo com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). No passado era um programa homologado em Portugal, mas ainda permite a exportação em ficheiro XML para importação posterior no portal da ADENE, além de gerar os cálculos do regulamento REH com informações sobre o desempenho energético, relatório de peritagem, e outros usos.

Utilizando a ISO 14683 (conforme o Despacho n.º 15793-K/2016 do REH) e através de uma análise por elementos finitos (de acordo com a norma EN ISO 10211), obtém-se os coeficientes de transmissão das pontes térmicas lineares, que podem ser utilizados para cálculos das energias de referências reais (Cypetherm REH, 2018). No entanto, para obter uma análise minuciosa do elemento utilizado, dos coeficientes do cálculo para pontes térmicas das camadas e do LSF, utilizamos o CYPETHERM BRIDGES, encontra-se os resultados detalhados no Anexo II – Pontes térmicas dos elementos em LSF.

O Cypetherm REH utiliza para análise algorítmica as seguintes normas (Cypetherm REH, 2018):

- ISO 6946 e ISO 10077-1 – para o cálculo da transmissão térmica dos elementos construtivos;
- EN ISO 13370 – para o cálculo do coeficiente de transferência de calor em elementos em contato com o solo;
- EN ISO 13789 – para calcular o fator b
- EN ISO 13786 – para cálculo da capacidade térmica do edifício
- ISO 13788 – para verificar a existência de condensações superficiais e intersticiais

O programa permite gerar o desenhado dos elementos construtivos e as camadas das envolventes, estando integrado ao fluxo de trabalho *OpenBIM* através do *standard* IFC (Cypetherm REH, 2018).

Em Portugal, o software Cypetherm REH custa 1600 € + IVA, e é vendido para representante da Empresa Cype, a empresa Top Informática.

1.2. Cypetherm HE Plus

Desde 5 de julho de 2018, o software CYPETHERM HE PLUS fornece um documento oficial reconhecido pelo Ministério Espanhol, para verificação do CTE DB-HE e emissão de laudo para Certificação Energética de edificações, dos edifícios na Espanha. Existe a opção de usar a ferramenta HULC (*Herramienta Unificada LIDER/CALENER*) (HULC, 2020), que é um *software* gratuito e pode ser baixado na plataforma BIMserver.center.

A partir do documento de suporte Atlas de Pontes Térmicas do DA DB-HE / 3, pode-se realizar a análise das pontes térmicas lineares e calcular por análise numérica (conforme ISO 10211), integrando assim o cálculo realizado pelo programa CYPETHERM BRIDGES (Help Cypetherm HE Plus, 2018).

A limitação de condensações integra o cálculo realizado pelo programa CYPETHERM HYGRO em cada solução construtiva da envolvente térmico do edifício, verificando a existência de condensação superficial e intersticial de acordo com a ISO 13788 (Help Cypetherm HE Plus, 2018).

O Cypetherm HE Plus ainda realiza a justificativa normativa CTE DB HE 0 e HE 1 (revisão de 2013 e 2019) usando um modelo de construção para simulação de energia calculado com EnergyPlus (Help Cypetherm HE Plus, 2018).

2. CENÁRIO DE COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL

Em um cenário da Construção 4.0, utilizamos a metodologia BIM para a busca de matérias tecnológicas com alta eficiência energética, que envolva o objetivo 9 (Indústria, inovação e infraestrutura); os itens 9.1(infraestrutura sustentável); 9.5 (pesquisa científica, capacidade tecnológica); e 9.b (tecnologia, pesquisa e inovação da Agenda 2030 – agenda 2030.gob.es) para uma estrutura em LSF, em Alcoutim, Portugal.

Geramos um processo de simulação computacional, utilizando os *softwares* Cypetherm REH e Cypetherm HE, para análise do desenvolvimento das normativas europeias que decorrem da Diretiva 2002/91/EC (DEEE, 2003), como sistemas BEM (*Building Energy Modelling*), porém com algoritmos diferentes de análises regulamentar.

Afim de verificar os resultados obtidos, buscamos parametrizar o *software* Cypetherm HE Plus, por ser mais versátil para *inputs*, com os dados do Cypetherm REH. O Cypetherm REH não nos permite incluir zonas climáticas que estejam fora do território português e o Cypetherm HE Plus nos “possibilita” estes *inputs*. Assim, temos alguns aspectos essenciais para nossa análise comparativa, que seriam a padronização de *Inputdate* (entrada de dados) e parametrização nos sistemas, obtidos com os principais requisitos do REH. Isso porque os procedimentos regulamentais de cálculo permitem repartir o consumo final de energia em função do vetor energético utilizado (tipo de combustível ou eletricidade) para satisfazer as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação e energias solares, e etc.

Para um controle da demanda de energia, as características das envolventes nos edifícios terão características térmicas que limitam as necessidades de energia primária para atingir o bem-estar térmico, independentemente das temperaturas de verão ou inverno conforme o regulamento REH, e a orientação nZeb.

2.1. Considerações iniciais para os requisitos REH e DB-HE

Tabela 1 - Descrição da localização da Obra

Características	Referência
Tipo de projeto ou intervenção	Obra Nova
Uso	Residencial Privado
Localização	Alcoutim
Altitude	30m
Tipo de Edificação	Unifamiliar

2.2. Tipo de morada

O tipo de morada é a primeira opção a ser definida por ambos os *softwares*, por ser o que direciona o tipo de coeficientes usados nas solicitações regulamentares.

O Cypetherm HE Plus, por possibilitar a avaliação de eficiência energética e certificação para edificações privados e de uso comerciais, se apresenta com mais

possibilidades de escolha, enquanto o Cypetherm REH é direcionado para cálculo de Eficiência Energético dos Edifícios de Habitação (REH), possuindo a versão Cypetherm REC Plus para o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (REC).

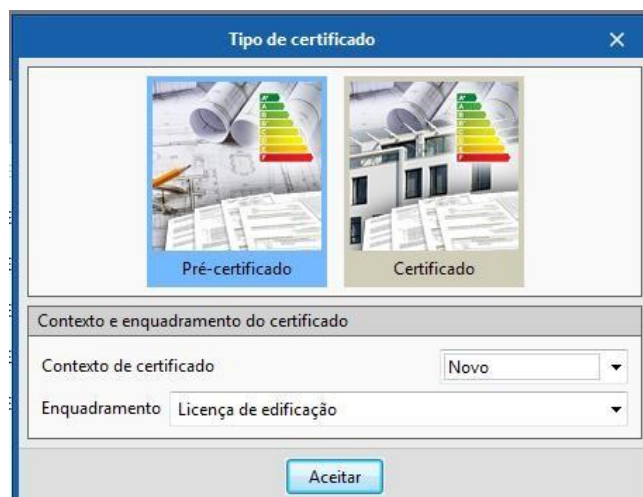


Figura 1 - Tipo de certificação REH (Cypetherm REH)

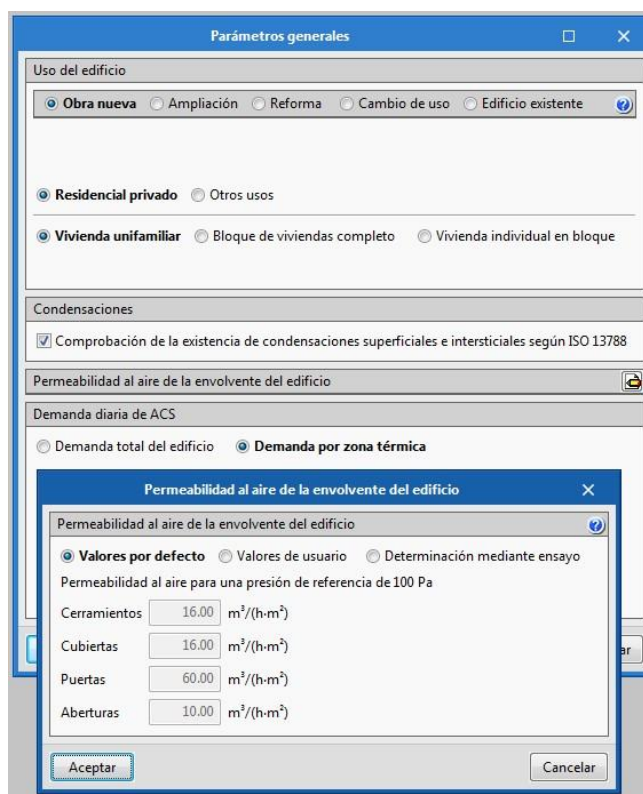


Figura 2 - Tipo de certificação DB-HE (Cypetherm HE Plus)



Figura 3 - Local da construção em Alcoutim a 200 m de Sanlúcar com 30 m de Altitude (Google Earth)

O edifício está em uma distância da costa superior a 3 Km (Região A), no Alto Alentejo.

2.3. Zoneamento Climático Portugal

O zoneamento climático de Portugal baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, numa composição por municípios, conforme indicado no Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro.

As zonas climáticas de inverno são ponderadas pelos graus-dias (GD) na base 18 °C.

Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	GD ≤ 1300	1300 ≤ GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão foram definidas a partir da temperatura média exterior [$\varnothing_{ext,V}$], correspondente à estação convencional de arrefecimento, e ponderam a duração da estação que é igual a quatro meses, 2928 horas.

Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\varnothing_{ext,V} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \varnothing_{ext,V} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\varnothing_{ext,V} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Os procedimentos de cálculos com as tabelas e fórmulas estão descritos no Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Em nossos estudos usamos o ficheiro climático fornecido pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), que disponibiliza o “*software*” SCE.CLIMA (v1.0) implementado em Microsoft Excel (com “macros”).

2.3.1. Localização da Zona Climática

Saber em que zona climática se encontra um edifício é um parâmetro determinante para quantificar as necessidades energéticas da habitação, pois é uma informação fundamental para cálculos de certificação energética para dimensionamento da potência de aquecimento e/ou arrefecimento necessária, e para saber quais os coeficientes mínimos de isolamento das envolventes.

Em nossos estudos, o foco são as características normativas para desempenho e certificação energética em Portugal e Espanha, usando *softwares* para simulação computacional através do fluxo de trabalho *openBIM*. Assim, o tipo de material e o tipo de construção somente se faz relevante para direcionarmos o modelo analisado em uma área do conhecimento, sem amplitudes estruturais, direcionando a pesquisa realizada e os resultados obtidos. No entanto, seguimos os critérios descritivos de apresentação na câmara para certificação energética de um projeto de uma nova construção.

Para a vertente térmica da construção, a localização determina o tipo de zona climática através das temperaturas de verão e de inverno, que ponderam os fatores de passos existentes nas equações matemáticas dos modelos físicos adotados.

2.3.1.1. Zona Climática Alcoutim - REH

Usando o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) para podemos preparar um ficheiro climático de referência, ajustamos a localização e altitude da construção, obtendo os anos meteorológicos de referência do local.

As informações obtidas, são então exportadas para o arquivo. Em nosso caso optamos pelo nome “Alcoutim 30m.epw”, no formato EnergyPlus Weather (EPW), para usarmos posteriormente na parametrização dos sistemas de análise e classificação energética Cypetherm, fazendo um *workflow* em BIM.

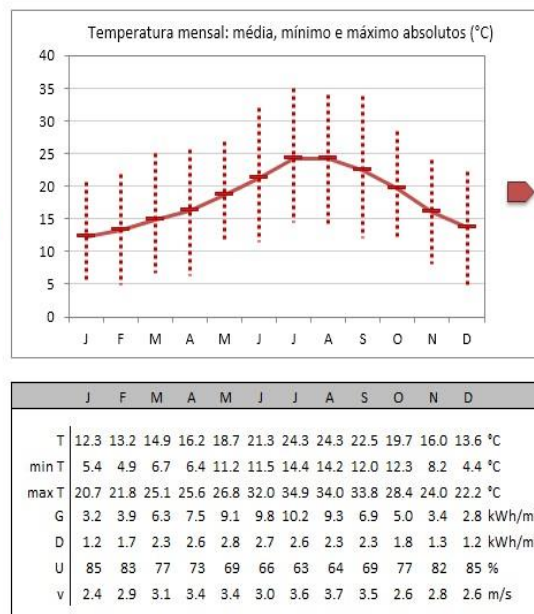
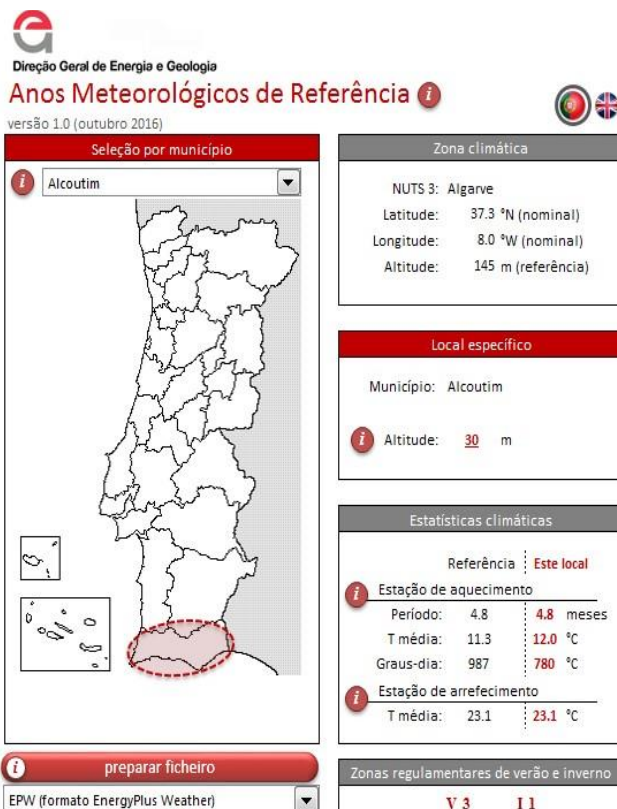


Figura 4 - Estatísticas Climáticas Alcoutim (SCE.CLIMA)

	Referência	Este local
Estação de aquecimento		
Período:	4.8	4.8 meses
T média:	11.3	12.0 °C
Graus-dia:	987	780 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	23.1	23.1 °C

Figura 5 - Estações de referencia Alcoutim (SCE.CLIMA)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	12.3	13.2	14.9	16.2	18.7	21.3	24.3	24.3	22.5	19.7	16.0	13.6
min T	5.4	4.9	6.7	6.4	11.2	11.5	14.4	14.2	12.0	12.3	8.2	4.4
max T	20.7	21.8	25.1	25.6	26.8	32.0	34.9	34.0	33.8	28.4	24.0	22.2
G	3.2	3.9	6.3	7.5	9.1	9.8	10.2	9.3	6.9	5.0	3.4	2.8
D	1.2	1.7	2.3	2.6	2.8	2.7	2.6	2.3	2.3	1.8	1.3	1.2
U	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85
v	2.4	2.9	3.1	3.4	3.4	3.0	3.6	3.7	3.5	2.6	2.8	2.6

Figura 6 - Resumo Climáticas - Alcoutim (SCE.CLIMA)

Legenda: T = Temperatura Média; G= Irradiação Solar Média Diária Global; D=

Anexo I - Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPETHERM HE PLUS – By Dean Delmo

Irradiação Solar Média Diária Difusa; U=Humidade relativa média mensal; v=
Intensidade média mensal do vento

Dessa maneira, temos informações de referências climáticas baseadas nas legislações vigentes, fornecida pela ferramenta da ADENE, que podemos usar para inclusão nos sistemas de análise energética Cypetherm HE Plus.

2.3.1.2. Zoneamento Climático Espanha

Na Espanha, para se calcular a zona climática é utilizada a "*Severidad Climática de Invierno*" (SCI), que pondera os graus-dias de inverno com base 20°C, o quociente entre o número de horas de sol e coeficientes de regressão. A "*Severidad Climática de Verano*" (SCV), pondera os graus-dias de verão de base 20°C com coeficientes de regressão.

Estabelecendo para a zona climática da Espanha, os procedimentos de cálculos, descritos nas tabelas e fórmulas do "*Documento descriptivo climas de referencia*" de 2017, da "*Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo*", e ilustrados no "*Documento Básico HE Ahorro de energia - Anejo B. Zonas Climáticas*", de forma que, as zonas climáticas para as principais cidades vão de "A" a "D", na classificação de inverno, acrescento a numeração de "1" a "4", para a classificação de verão, conforme a altura da localização da cidade (DB-HE).

O Cypetherm HE Plus é um software com mais versatilidade em relação ao Cypetherm REH, tendo mais níveis de parametrização e nos permitindo emular outras regiões do planeta, simulando os dados climáticos da região a ser analisada, com os algoritmos de regulamentação de eficiências energética das edificações da Espanha, o DB-HE.

Com a finalidade de criar um ambiente climático e geográfico igual, obtendo *outputs* de dados comparáveis, usamos os valores de referência do REH para parametrizar as informações no Cypetherm HE Plus e, assim, validar com mais precisão os resultados encontrados e a relação de comparação entre as duas normativas.

O Cypetherm HE Plus não permite a inclusão direta da zona climática de Alcoutim em seu sistema padrão de utilização, como demonstrado abaixo.

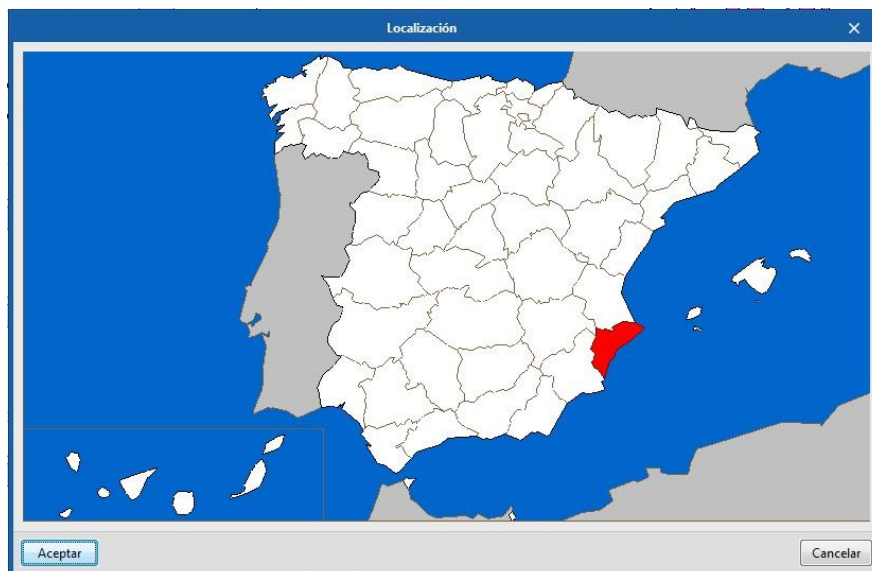


Figura 7 - Dados del empazamiento - Localización (Cypetherm HE Plus 2021.d)

2.4. Parametrização Climática dos Cypetherm

Para melhor análise da eficiência energética no Cypetherm REH, temos de seleccionar a zona climática corresponde, alterar os valores mensais de temperatura média e humidade relativa média, que vem por defeito, com os dados da localização fornecidos pelo SCE.CLIMA.

Por ser um software que tem por finalidade o estudo de eficiência energética das edificações de Portugal, o Cypetherm REH já realiza os cálculos necessários para encontrar a correta zona climática correspondente à cidade de Alcoutim em Faro, sendo referenciado como I1 para o Inverno e V3 para o Verão.

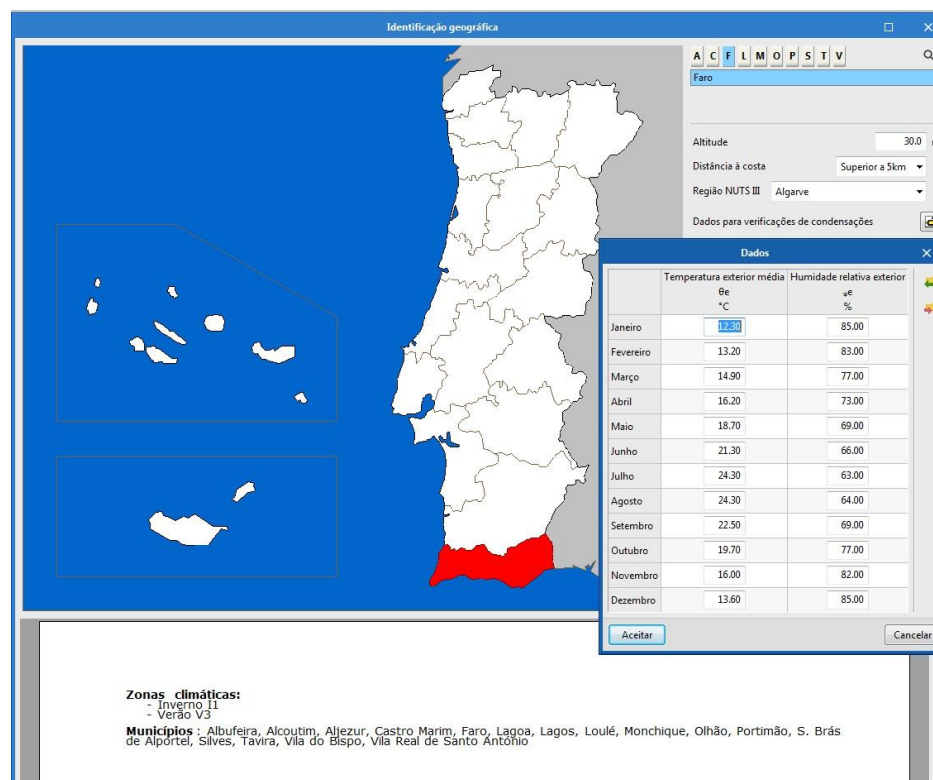


Figura 8 - Definição de dados climáticos de Alcoutim – Faro – Portugal no Cypetherm REH (Cypetherm REH 2021.d)

Infelizmente, apesar do sistema Cypetherm REH possuir a opção de exportação, a interoperabilidade entre o Cypetherm HE Plus, não funciona neste parâmetro, pois a exportação é compatível para um arquivo com extensão “.bibgen”, gerando um arquivo em código de máquina, que não possui *metadate* legível para uma ferramenta BIM, protocolo IFC, *openBIM*.

Apesar de não estarmos necessariamente trabalhando com os metadados de um protocolo IFC, ao incorporamos o ficheiro “Alcoutim 30m.epw” na opção “*Outro ficheiro de dados climáticos*”, gerado pelo software SCE.CLIMA, no software Cypetherm HE Plus, temos a interoperabilidade dos sistemas, por conseguirem trabalhar com as mesmas informações. Neste caso, o formato de arquivo de climatização “EPW” (EnergyPlus Weather) da EnergyPlus, se torna uma aplicação pela metodologia BIM e nos permite alterar os dados climáticos.

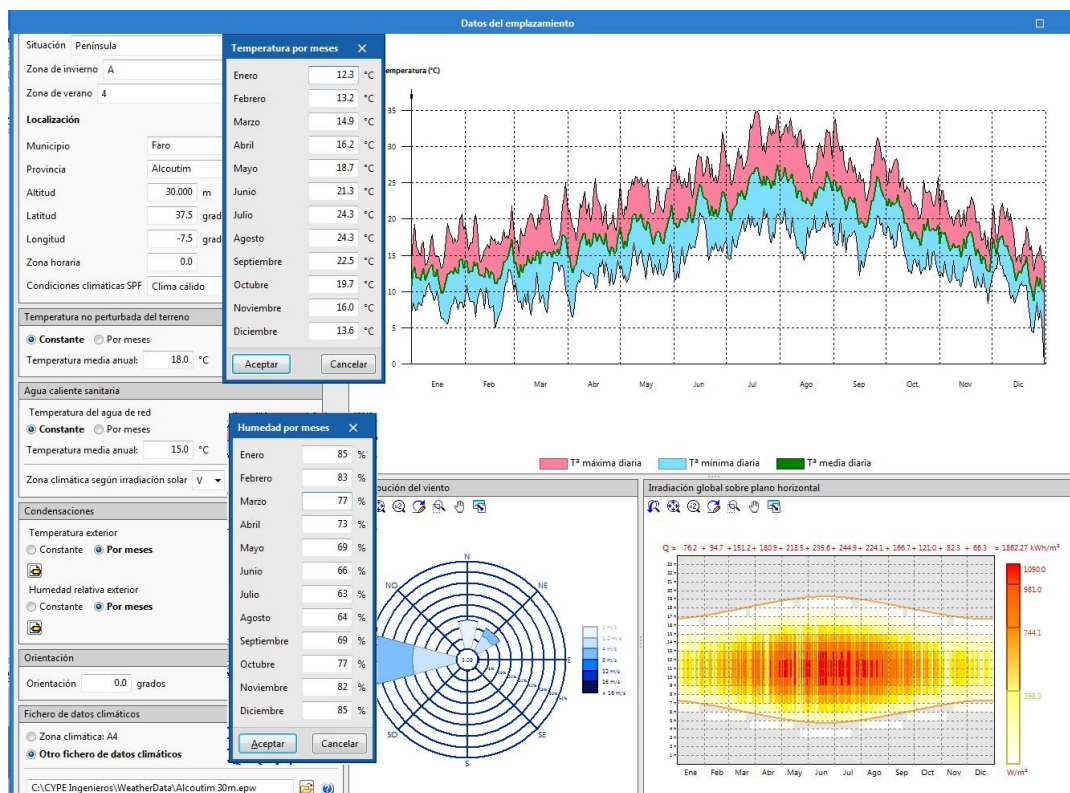


Figura 9 - Tela Dados del emplazamiento - Parametrizado HE Plus com os dados climáticos de Alcoutim (Cypetherm HE Plus 2021.b)

Para termos mais precisão nos *outputs* fornecidos pelo Cypetherm HE Plus e sua consistência com os existentes no Cypetherm REH, alteramos os parâmetros de localização climática que vem por defeito, para os dados climáticos de cidade de Sanlúcar de Guadiana, em Huelva, que fica há 380m de cidade Alcoutim, nos permitindo obter uma referência mais exata das características climáticas da cidade de Alcoutim. Conforme o “Anejo B. Zonas climáticas” do Documento Básico HE, temos uma zona climática A4. O zoneamento climático correto é muito importante, porque será uma das principais diferenças nos *outputs*, pois os coeficientes utilizados nos regulamentos para a análise de eficiência energética da edificação, são principalmente oriundos de sua localização geográfica.

Para a parametrização da temperatura da água da rede pública de Sanlúcar de Guadiana, usa-se como referência a *Tabela a-Anexo G* do DB- HE, que contém a temperatura média mensal diária (°C) da água fria da rede para o capitais provinciais, que é usada no cálculo do consumo de AQS. Como referido no artigo 2º, alínea a), do Decreto-Lei nº 118/2013, para efeitos do SCE, entende-se por AQS a “...água potável aquecida em dispositivo próprio, com energia convencional ou renovável, até uma temperatura superior a 45°C, e destinada a banhos, limpezas, cozinha ou fins

análogos”. Então, não sabemos qual é o valor referenciado no algoritmo do Cypetherm REH e não existe a possibilidade de parametrizar esse parâmetro no Cypetherm REH.

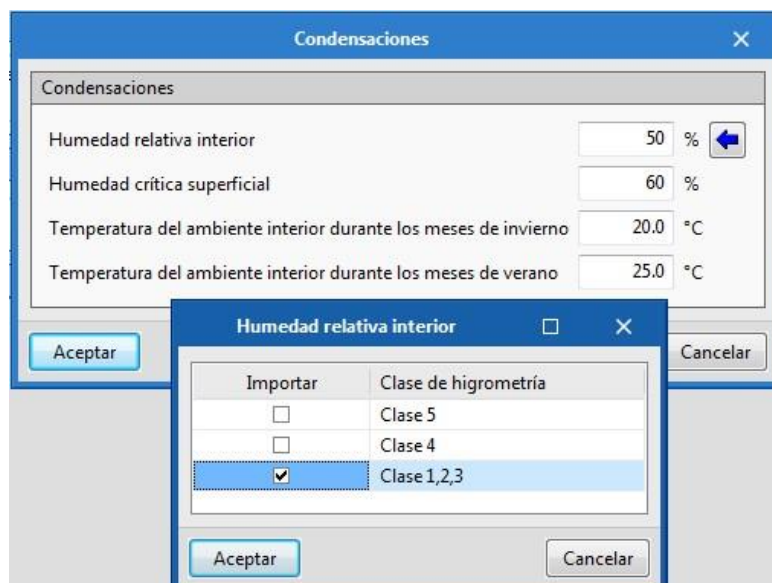


Figura 10 - Condensaciones – Condensaciones em Zonas (Cypetherm HE Plus 2021.b)

No REH, não se analisa as condensações, mas no REC se analisa. No DB-HE se analisa as condensações, tanto para vivendas como para edificações comerciais.

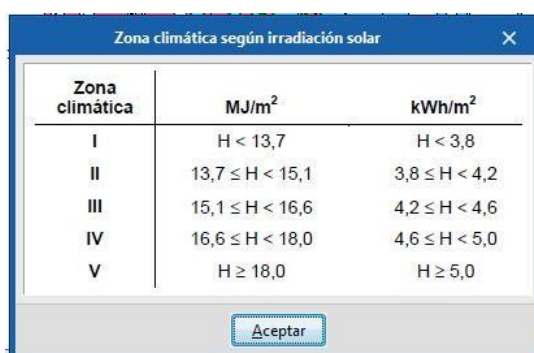


Figura 11 - Condensaciones – Condensaciones em Zonas (Cypetherm REH 2021.b)

A classe de umidade é situada na região crítica para ter maior controle sobre as patologias das construções específicas com metal, no caso da estrutura de LSF, evitando maior existência de corrosão.

Para as “Condiciones climáticas SPF”, seleccionamos a opção “Clima cálido” como parâmetro, pois na ilustração retirada do *EUROPEAN COMMISSION - EUROSTAT, SHARES Tool Manual, Version 2014.51008*, demonstra que Alcoutim encontra-se em uma região de clima quente, pois está com valores menor ou igual a 2000 graus-dias.

Para a parametrização de “zona climática según irradiación solar” que é a radiação solar global média diária anual sobre a superfície horizontal (H) (HE 4, 2005). Define-se os valores de contribuição solar mínima de água quente sanitária e de contribuição fotovoltaica mínima para energia elétrica, descritos no DB-HE seção HE 4 e seção HE 5, respectivamente. Fazendo o somatório dos valores gerados pelo programa SCE.CLIMA de irradiação solar global mensal e dividindo pelos números de meses do ano (12 meses), $(3.2+3.9+6.3+7.5+9.1+9.8+10.2+9.9+6.9+5.0+3.4+2.8)/12$, obtemos o valor de 6,5 kWh/m². Seleccionamos a opção “V”, baseados na figura abaixo do Cypetherm HE Plus, da “Tabla 3.2 Radiación solar global” da “Sección DB-HE 4”.



Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Figura 12 - Zona climática según irradiación solar (Cypetherm HE Plus 2021.b)

3. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DO MODELO

3.1. Seleção da estrutura construtiva

Optamos pelo LSF (*Ligth Steel Framing*) entre os diversos tipos de materiais, pela eficiência na produção racional associada ao BIM e a relação com sustentabilidade no contexto do pouco desperdício de materiais. Optamos também pela sua industrialização, o que otimiza a velocidade da construção e aumenta a eficiência.

Ainda temos a questão da tecnologia, pesquisa e inovação nos estudos de novos materiais incorporados as camadas dos revestimentos construtivas de sua elaboração. O que se aproxima do conceito de construção 4.0.

Por estarmos utilizando softwares da mesma empresa no fluxo de trabalho *openBIM* temos metadados similares que podem ser interpolados, agilizando o projeto em uma modelo de construção 4.0, além de dispor de uma parametrização semelhante de inputs de dados. Assim, as bibliotecas de dados para análise dos algoritmos dos

regulamentos podem ser descritas nas mesmas etapas. Optamos também em colocar a imagem da parametrização dos *softwares* (*printscreens*), somente do Cypetherm REH, quando ambas tiverem as mesmas características.

3.2. Geometria

Por trabalharmos em um ambiente *openBIM*, usamos *softwares* específicos para cada uma das etapas do processo de análise, permitindo a interoperabilidade entre eles, gerando um fluxo de trabalho ágil e flexivo. Para a base de análise, obtemos a geometria da moradia unifamiliar, modelando nos *software* “IFC Builder” da Cype.

Optamos por usar as opções *openBIM* da Cype Software, optando por um ambiente “comum”, reduzindo os problemas de metadados do protocolo IFC e aumentar as interligações algorítmicas entre os motores de cálculos dos regulamentos analisados.

Além das paredes envolventes e interiores, modelamos a cobertura e a fundação, pois são os elementos bases para uma análise da parametrização dos *softwares*.

Na proposta de pesquisa sobre eficiência energética das edificações, não iremos demonstrar a utilização dos *softwares* mencionados pois, nos capítulos desta dissertação, foram descritas as bases e metodologias das escolhas dos parâmetros utilizados na comparação.

3.3. Modelagem da edificação - IFC

Com as informações geométricas da edificação determinada, é realizada a modelagem digital, para sua representação e cálculos de dimensionamento.

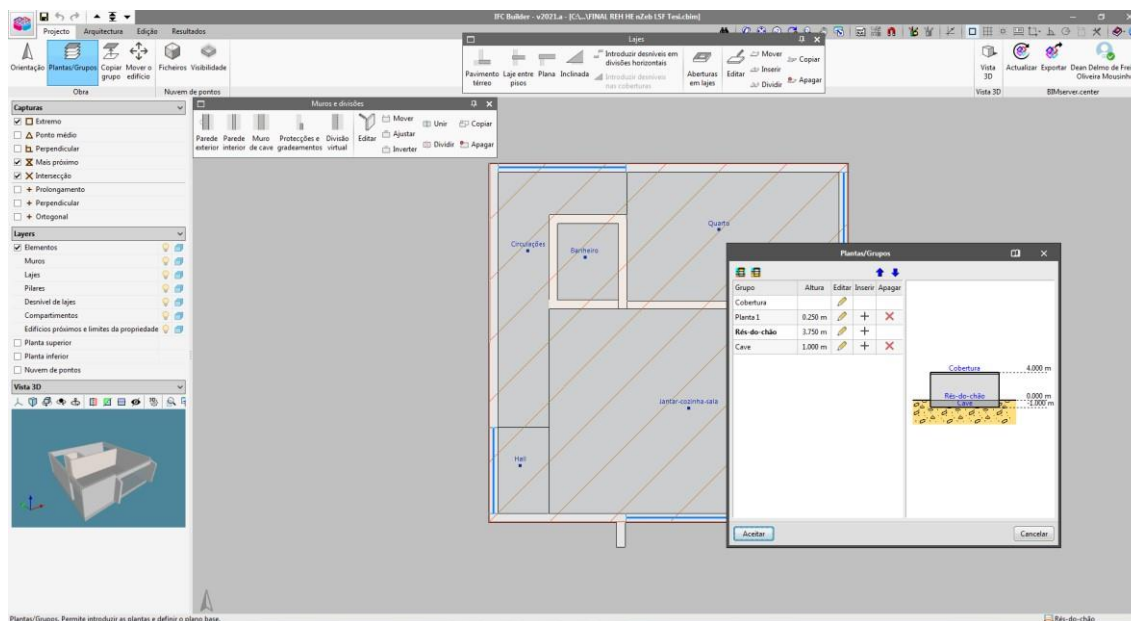


Figura 13 - Interface IFC Builder (IFC Builder)

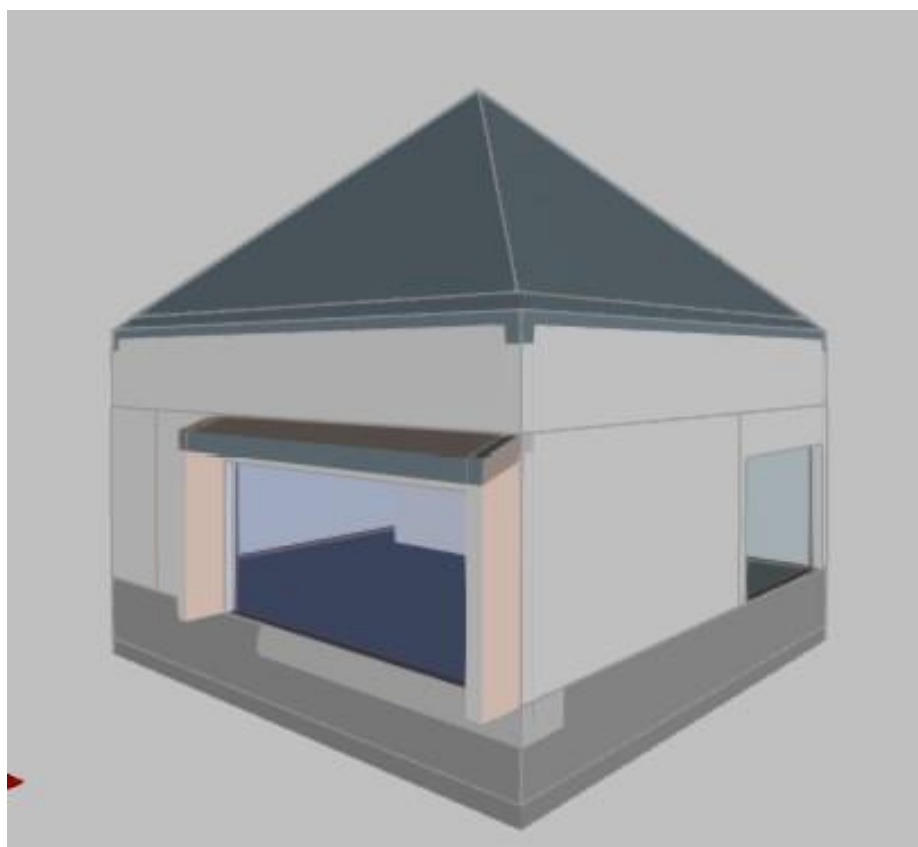


Figura 14 - Modelo 3D do caso de Estudo (builder ifc 2021.c)

Com o modelo IFC devidamente modelado e com os compartimentos definidos é realizada a exportação para o BimSever.com, tornando acessível o modelo para estudo de todos os colaboradores do projeto e proprietários, quando for o caso.

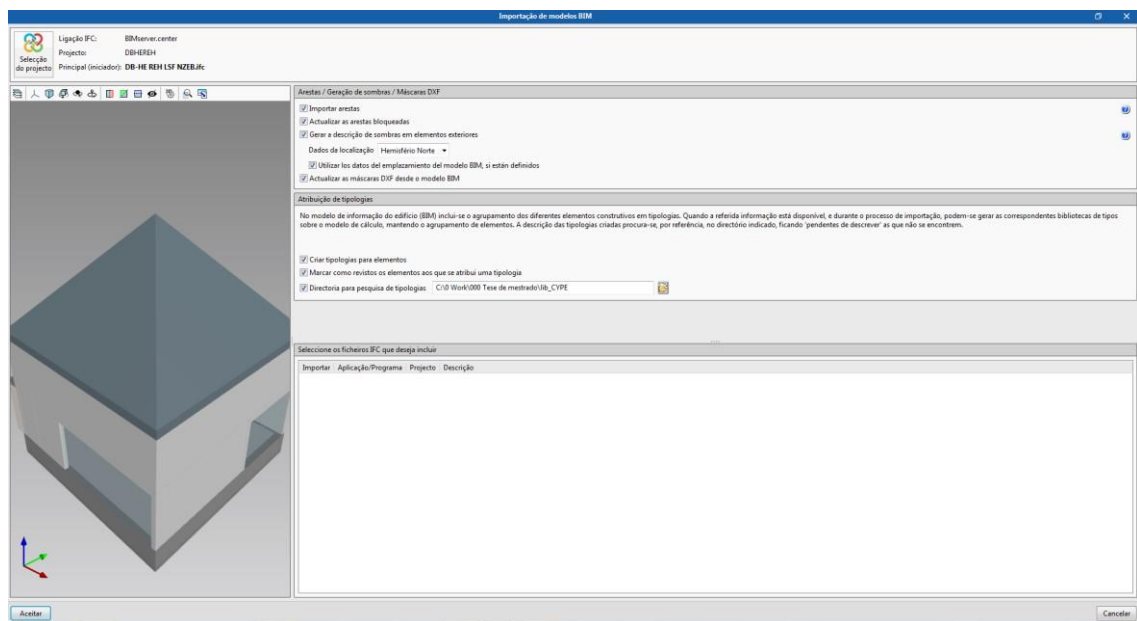


Figura 15 - Seleção de Projeto Cypetherm REH (Cypetherm REH)

Os próximos passos seria selecionar o projetista atuação (hidráulica, elétrica, estrutural, eficiência energética, etc.) e o modelo IFC, podendo todos trabalharem juntos e compartilhar as alterações pelo bimserver.center.

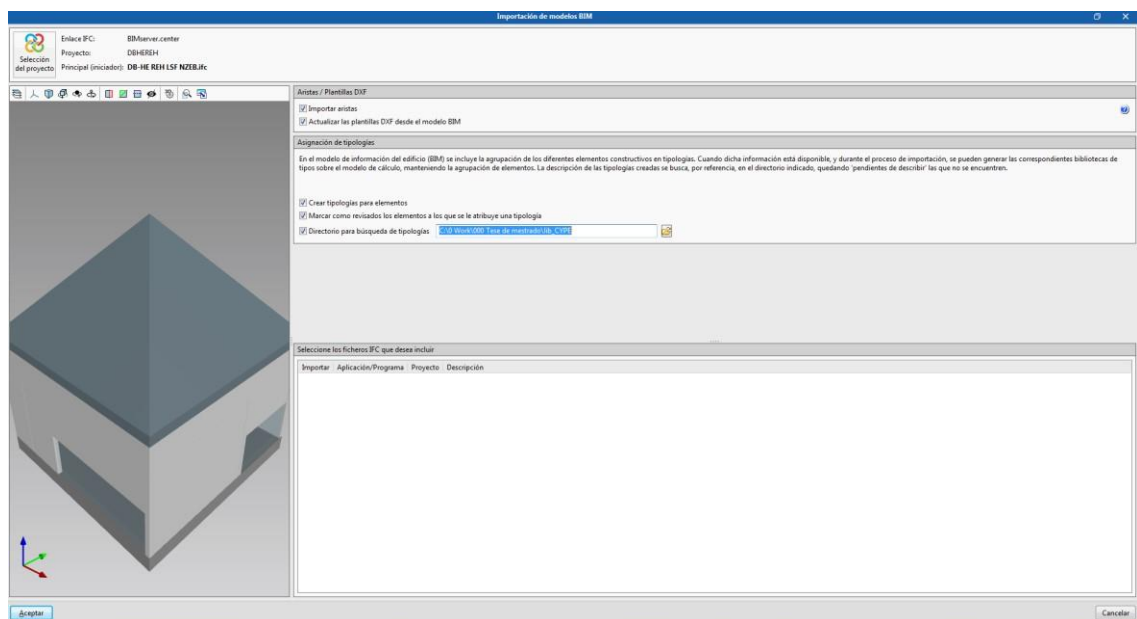


Figura 16 - Seleção do Projeto Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

3.4. Definição dos elementos construtivos

3.4.1. Elementos opacos

As parametrizações para o LOD são bem simplificadas por elemento, somente podendo especificar a cor, a trama e o aspecto do material. Esses parâmetros não influenciam nos cálculos resultantes. A parametrização do LOI é bem completa relativamente às necessidades de análise de eficiência energética. Em ambos os sistemas os resultados de representação visual, são idênticos, possuindo interoperabilidade entre os *softwares*.

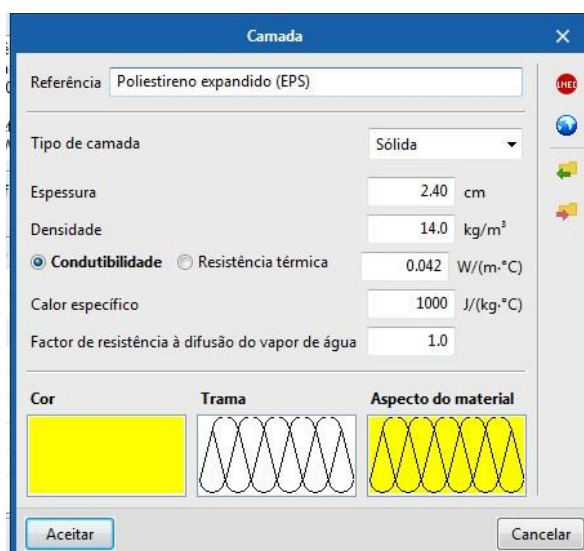


Figura 17 - Parametrização do detalhe construtivo Poliestireno expandido (EPS) (Cypetherm REH)

3.4.2. Paredes Exteriores E-PD1-1

Para a parede externa de moldura LSF com isolamento em lã de rocha, as informações para parametrização foram inseridas conforme descrito no modelo de estudo dessa dissertação.

Parede exterior (Tipo 1)

Referência: E-PD1-1

Descrição:

Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 21.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Reboco com textura e pintura, com 1.0 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.550 W/(m·°C); 2) Poliamida com 25% de fibra de vidro, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.300 W/(m·°C); 3) Poliestireno expandido (EPS), com 2.4 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.042 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 5) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.130 W/(m·°C); 6) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 7) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 8) Placa de gesso cartonado, com 1.2 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.048 W/(m·°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas (De exterior a interior)	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m²·°C/W)	Densidade (kg/m³)
Reboco com textura e pintura	1.00	0.550	0.018	1200.0
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.10	0.300	0.003	1450.0
Poliestireno expandido (EPS)	2.40	0.042	0.571	14.0
Membranas flexíveis impregnadas com betu...	0.10	0.230	0.004	1100.0
Painéis de lamelas longas (OSB)	1.10	0.130	0.085	650.0
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	0.040	3.750	50.0
Membranas flexíveis impregnadas com betu...	0.10	0.230	0.004	1100.0
Placa de gesso cartonado	1.20	0.250	0.048	1000.0

Coeficiente de absorção: Média 0.50

Tipo de solução de envolvente: Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Figura 18 - Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm REH)

Seção da Parede da Fachada E-PD1-1

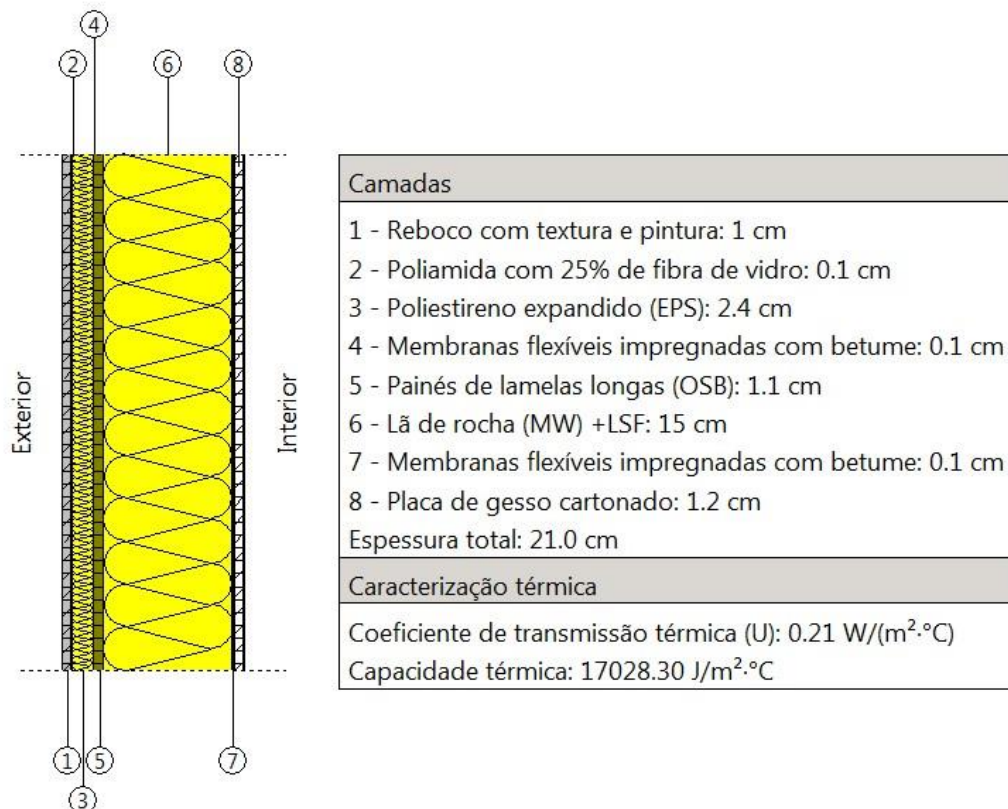


Figura 19 - Seção da Parede da Fachada E-PD1-1

Nos *inputs* das informações físicas dos elementos construtivos, para o Cypetherm HE Plus, temos a opção de “*Coeficiente de absorción*”, como previsto nos regulamentos, enquanto para a parametrização REH, considerado também opção de “Tipo de solução da envolvente”.

Capas	Espesor (cm)	Conductividad (W/(m·K))	Resistencia térmica ((m²·K)/W)	Densidad (kg/m³)
Reboco com textura e pintura	1.00	0.550	0.02	1200.00
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.10	0.300		1450.00
Poliestireno expandido (EPS)	2.40	0.042	0.57	14.00
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230		1100.00
Painés de lamelas longas (OSB)	1.10	0.130	0.08	650.00
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	0.040	3.75	50.00
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230		1100.00
Placa de gesso cartonado	1.20	0.250	0.05	1000.00

Figura 20 - Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm HE Plus)

No Cypetherm HE Plus, temos as opções “Medianera” e “Adiabático”, descrita no HE 1 item 4.2.b, que geram coeficientes de passos para os cálculos de eficiências energética distintos.

3.4.3. Paredes Interiores

3.4.3.1. Parede interior - I-PD1-1

Parede interior de moldura LSF com isolamento em lã de rocha, I-PD1-1.

Para as paredes internas encontramos as mesmas características na padronização dos elementos construtivos das paredes externas em LSF.

Parede interior (Tipo 2)

Referência: I-PD1-1

Descrição: Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 18.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placas de yeso armado com fibras minerais 800 < d < 1000, com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 3) Lã de rocha (MW), com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Placas de yeso armado com fibras minerais 800 < d < 1000, com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m²·°C/W)	Densidade (kg/m³)
Placa de gesso cartonado	1.40	0.250	0.056	900.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230	0.004	1100.0
Lã de rocha (MW)	15.00	0.040	3.750	50.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230	0.004	1100.0
Placa de gesso cartonado	1.40	0.250	0.056	900.0

Coeficiente de absorção: Média 0.50

Tipo de solução de envoltivo: Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Figura 21 -Parametrização dos Elementos construtivos da fachada E-PD1-1 (Cypetherm REH)

Seção da Parede da interna I-PD1-1

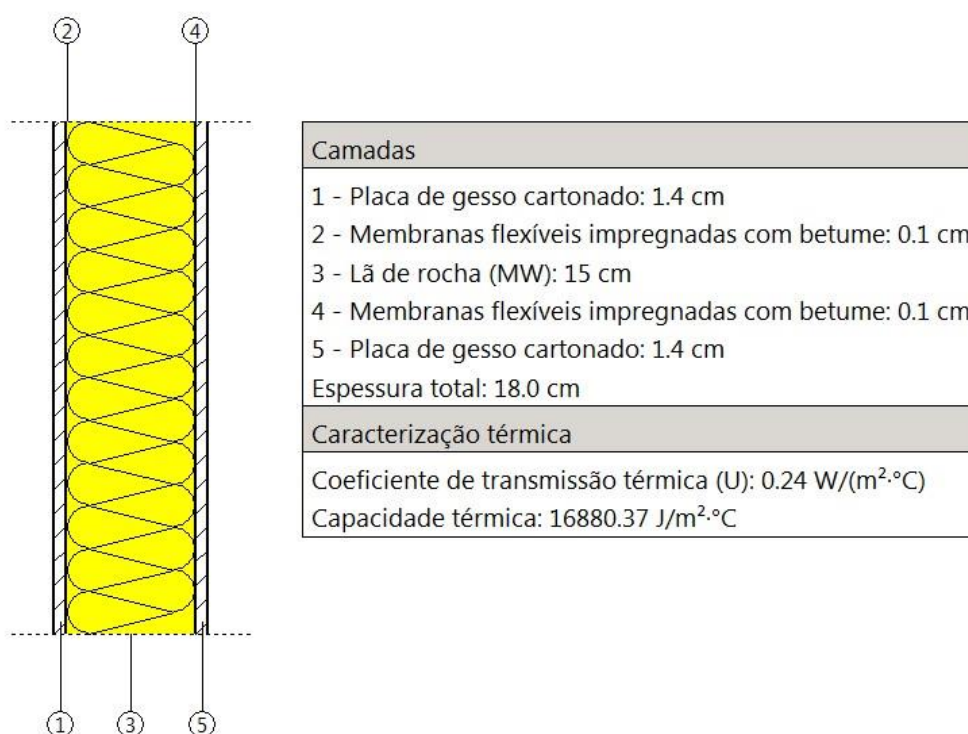


Figura 22 - Seção da Parede da interna I-PD1-1

3.4.3.2. Parede interna I-PD1-2

Optamos por não colocar as imagens do Cypetherm HE Plus, pois apresentam os mesmos resultados visuais do Cypetherm REH, existindo a interoperabilidade.

As informações para parametrização foram inseridas conforme descrito no modelo de estudo dessa dissertação.

Parede interior (Tipo 1)

Referência: I-PD1-2

Descrição: Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 20.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placas de yeso armado com fibras minerais 800 < d < 1000, com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 3) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coef. de cond. térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Placas de yeso armado com fibras minerais 800 < d < 1000, com 1.4 cm de espessura e coef. de cond. térmica de 0.250 W/(m·°C); 6) Argamassa e reboco de cal e areia, com 1.0 cm de espessura e

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m²·°C/W)	Densidade (kg/m³)
Placa de gesso cartonado	1.40	0.250	0.056	900.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230	0.004	1100.0
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	0.040	3.750	50.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230	0.004	1100.0
Placas de yeso armado com fibras minerais 8...	1.40	0.250	0.056	900.0
Argamassa e reboco de cal e areia	1.00	0.800	0.012	1600.0
Placa de gesso cartonado	1.00	1.300	0.008	2300.0

Coeficiente de absorção: Média 0.50

Tipo de solução de envoltivo: Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Figura 23 - Parametrização dos Elementos construtivos da parede interna I-PD1-2 (Cypetherm REH)

Seção da Parede da interna I-PD1-2

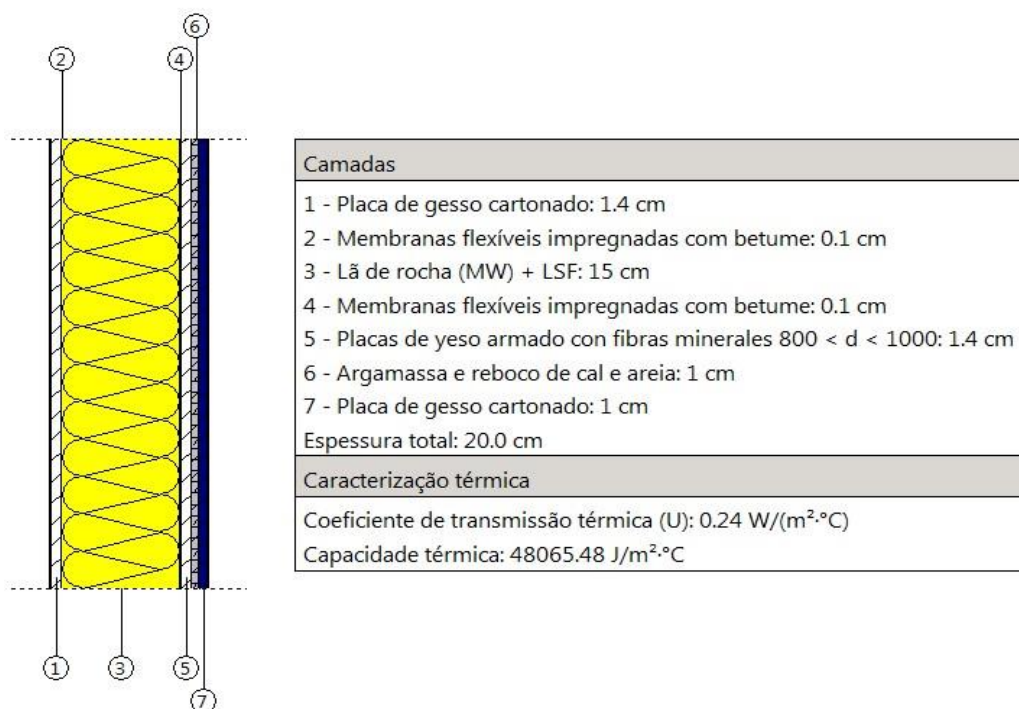


Figura 24 - Seção da Parede da interna I-PD1-2

3.4.4. Paredes Enterradas - S-PDE1-0

Muro da câmara sanitária, s-PDE1-0.

Parede enterrada (Tipo 1)

Referência: S-PDE1-0

Descrição: MURO DA CAMERA SANITÁRIA - Parede simples sem isolamento térmico, com espessura total de 21.00 cm, com as seguintes camadas: 1) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m.°C); 2) Betão isolante resistente com areia do rio, com 20.8 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.700 W/(m.°C); 3) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m.°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas (De exterior a interior)	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m.°C))	Resistência térmica (m².°C/W)	Densidade (kg/m³)
Membranas flexíveis impregnadas com be...	0.10	0.230	0.004	1100.0
Betão isolante resistente com areia do rio	20.80	0.700	0.297	1200.0
Membranas flexíveis impregnadas com be...	0.10	0.230	0.004	1100.0

Condutibilidade térmica do terreno: 2.00 W/(m.K)

Tipo de solução de envolvente: Parede simples sem isolamento térmico

Figura 25 - Parametrização dos Elementos construtivos da parede enterrada S-PDE1-0 (Cypetherm REH)

Seção da Parede da enterrada S-PDE1-0

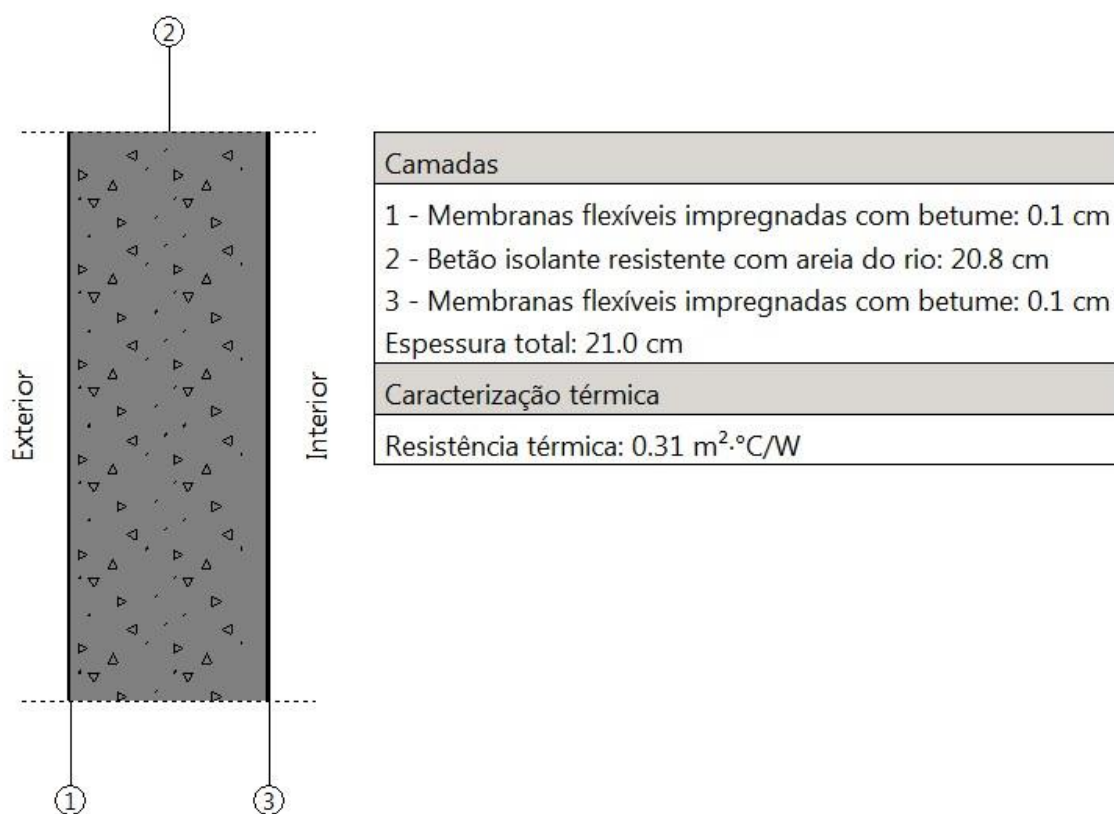


Figura 26 - Seção da Parede da enterrada S-PDE1-0

3.4.5. Pavimentos térreos - S-PVE0-1

Piso da Câmara Sanitária

Pavimento térreo (Tipo 1)

Referência: S-PVE0-1

Descrição: Pavimento sem isolamento térmico, com espessura total de 25.00 cm, com as seguintes camadas: 1) Poliestireno expandido (EPS), com 5.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 2) Betão normal, com 8.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 1.650 W/(m·°C); 3) Lamina de PVC, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Areia e Brita, com 11.9 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m·°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m²·°C/W)	Densidade (kg/m³)	Calor
Poliestireno expandido (EPS)	5.00	0.042	1.190	14.0	
Betão normal	8.00	1.650	0.048	2300.0	
Lamina de PVC	0.10	0.140	0.007	1200.0	
Areia e Brita	11.90	2.000	0.060	1700.0	

Tipo: ☐ Com isolamento periférico

Condutibilidade térmica do terreno: 2.00 W/(m·K)

Tipo de solução de envolvente: Pavimento em contacto com o solo com isolamento térmico

Importar a condutibilidade térmica em função do tipo de terreno

Importar	Descrição	Condutibilidade térmica do terreno (W/(m·°C))
☐	Areia solta	1.4
☐	Argila dura	1.5
☒	Areia semi-densa	2.0
☐	Areia densa	2.4

Aceitar Cancelar

Figura 27 - Parametrização dos Elementos construtivos do pavimento térreo S-PVE0-1 (Cypetherm REH)

Seção do pavimento térreo S-PVE0-1

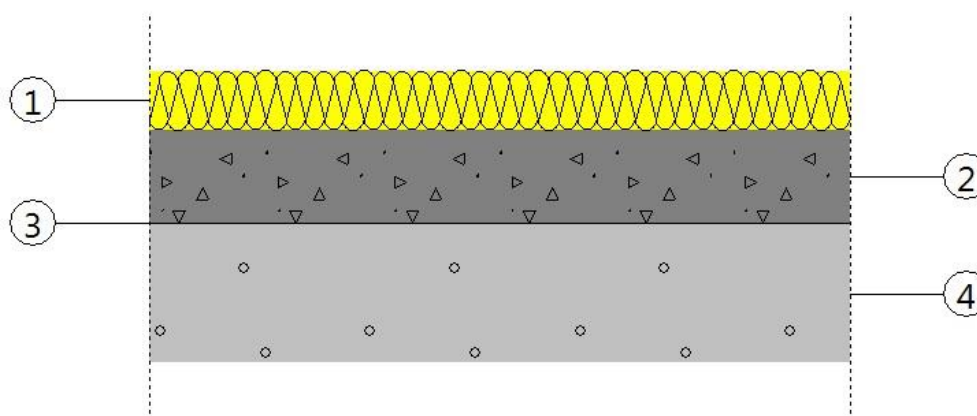


Figura 28 - Seção do pavimento térreo S-PVE0-1

Camadas
1 - Poliestireno expandido (EPS): 5 cm
2 - Betão normal: 8 cm
3 - Lamina de PVC: 0.1 cm
4 - Areia e Brita: 11.9 cm
Espessura total: 25.0 cm
Caracterização térmica
Resistência térmica: 1.31 m ² ·°C/W

Figura 29 - Camadas pavimento térreo S-PVE0-1

3.4.6. Pavimentos entrepisos

3.4.6.1. Entrepisos secos - I-PV2-1

Entrepisos secos de alto desempenho acústico com isolamento de lã de rocha (condicionado com não habitável), I-PV2-1.

Pavimento entre pisos (Tipo 2)

Referência: I-PV2-1

Descrição: Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 23.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placa de gesso cartonado, com 1.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Lã de rocha (MW), com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 3) OSB multilaminado, com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Neopreno (policloropreno), com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	De
Placa de gesso cartonado	1.50	0.250	0.060	
Lã de rocha (MW)	2.50	0.040	0.625	
OSB multilaminado	2.50	0.140	0.179	
Neopreno (policloropreno)	0.10	0.230	0.004	
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	0.040	3.750	
Painéis de lamelas longas (OSB)	1.40	0.130	0.108	

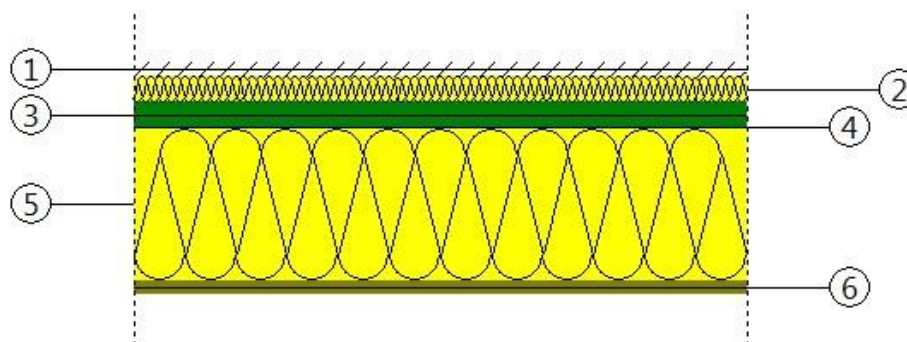
Coeficiente de absorção: Média 0.60

Tipo de solução de envolvente: Pavimento com isolamento térmico pelo interior

Tipo de solução de envolvente: Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior

Figura 30 - Parametrização dos Elementos construtivos do entre piso I-PV2-1 (Cypetherm REH)

Seção do entre piso I-PV2-1



Camadas
1 - Placa de gesso cartonado: 1.5 cm
2 - Lã de rocha (MW): 2.5 cm
3 - OSB multilaminado: 2.5 cm
4 - Neopreno (policloropreno): 0.1 cm
5 - Lã de rocha (MW) + LSF: 15 cm
6 - Painéis de lamelas longas (OSB): 1.4 cm
Espessura total: 23.0 cm
Caracterização térmica
Laje superior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.20 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m ² .°C)
Laje inferior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.20 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m ² .°C)
Laje inferior exposta à intempérie
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.21 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m ² .°C)
Capacidade térmica: 25446.43 J/m ² .°C

Figura 31 - Seção do entre piso I-PV2-1

3.4.6.2. Pavimento Térreo - Isolamento - I-PV1-1

Não foram realizados cálculos estruturais avaliando as cargas verticais, nem as características geológicas do terreno, por não termos estudos exploratórios e por não fazer parte do escopo do estudo.

Pavimento entre pisos (Tipo 1)

Referência: I-PV1-1

Descrição: Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 42.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Piso Terminado, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.800 W/(m.°C); 2) Nivelador, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.550 W/(m.°C); 3) Contra Piso, com 4.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m.°C); 4) Poliestireno expandido (EPS), com 6.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m.°C); 5) Piso de Fundação com Armadura, com 30.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.850 W/(m.°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m.°C))	Resistência térmica (m².°C/W)
Piso Terminado	1.00	0.800	0.012
Nivelador	1.00	0.550	0.018
Contra Piso	4.00	2.000	0.020
Poliestireno expandido (EPS)	6.00	0.042	1.429
Piso de Fundação com Armadura	30.00	0.850	0.353

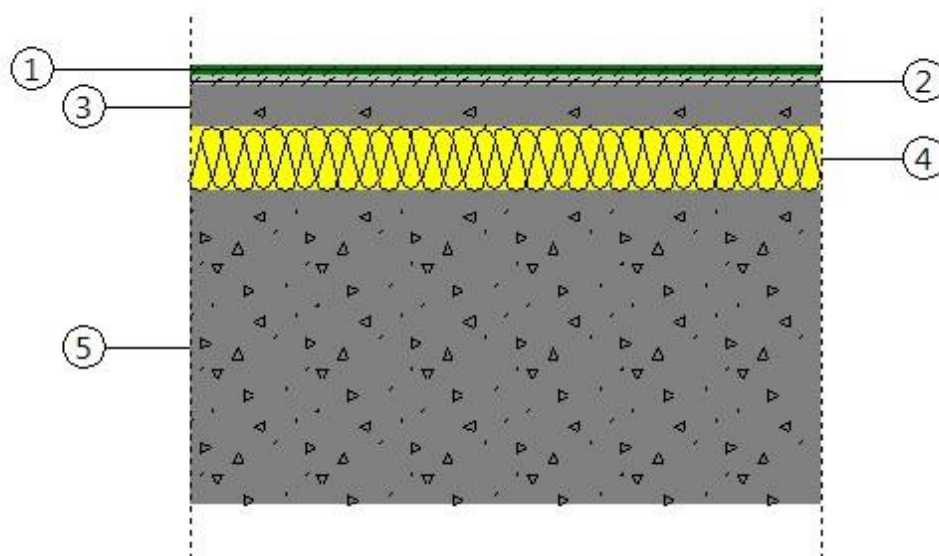
Coeficiente de absorção: Média 0.50

Tipo de solução de envoltente: Pavimento com isolamento térmico pelo interior

Tipo de solução de envoltente: Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo exterior

Figura 32 - Parametrização dos Elementos construtivos do pavimento térreo I-PV2-1 (Cypetherm REH)

Seção do pavimento térreo I-PV2-1



Camadas
1 - Piso Terminado: 1 cm
2 - Nivelador: 1 cm
3 - Contra Piso: 4 cm
4 - Poliestireno expandido (EPS): 6 cm
5 - Piso de Fundação com Armadura: 30 cm
Espessura total: 42.0 cm
Caracterização térmica
Laje superior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.46 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.49 W/(m ² .°C)
Laje inferior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.49 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.46 W/(m ² .°C)
Laje inferior exposta à intempérie
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.51 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.49 W/(m ² .°C)
Capacidade térmica: 102549.68 J/m ² .°C

Figura 33 - Seção do pavimento térreo I-PV2-1

Em ambos os softwares os *inputs* são os mesmos, possuindo interoperabilidade dos metadados. O que é diferenciada é apenas a opção regulamentar “Tipo de solução da envolvente”, não existente no Cypetherm HE Plus como coeficiente de passo.

3.4.7. Cobertura - E-CO2-1

Para a cobertura, utilizamos uma laje com estrutura em LSF. Abaixo das as exigências de transmitância térmicas do regulamento REH.

Cobertura (Tipo 1)

Referência: E-CO2-1

Descrição: COBERTURA SECA INCLINADA COM ISOLAMENTO - Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 25,00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Telha de Argila Cozida, com 1,4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,650 W/(m·°C); 2) Camera de Ar, com 3,0 cm de espessura e resistência térmica de 0,180 m²·°C/W; 3) Poliestireno extrudido (XPS), com 15,0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0,1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,230 W/(m·°C); 5) Poliestireno expandido (EPS) + LSF, com 4,0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,042 W/(m·°C); 6) Placa de gesso cartonado, com 1,5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,250 W/(m·°C).

☒ Definição por camadas ☐ Definição simplificada

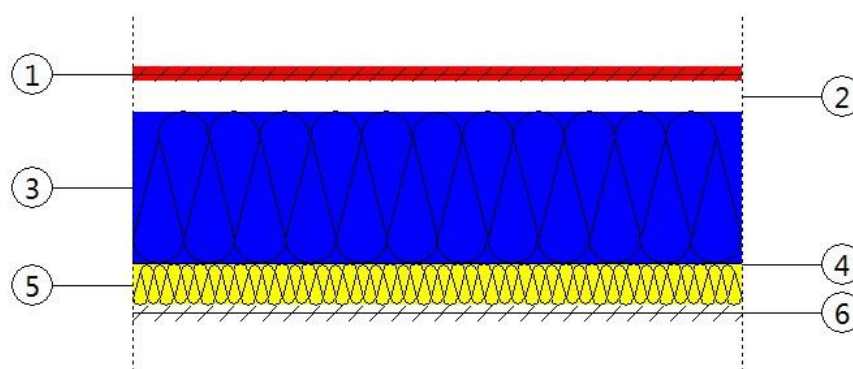
Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m²·°C/W)	Densidade (kg/m³)	Calor espe
Telha de Argila Cozida	1.40	0.650	0.022	1500.0	
Camera de Ar	3.00	0.167	0.180	1.0	
Poliestireno extrudido (XPS)	15.00	0.037	4.054	40.0	
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	0.230	0.004	1100.0	
Poliestireno expandido (EPS) + LSF	4.00	0.042	0.952	14.0	
Placa de gesso cartonado	1.50	0.250	0.060	1000.0	

Coeficiente de absorção: Média 0.50

Tipo de solução de envolvente: Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior

Figura 34 -Parametrização dos Elementos construtivos cobertura E-CO2-1 (Cypetherm REH)

Seção da cobertura E-CO2-1



Camadas
1 - Telha de Argila Cozida: 1.4 cm
2 - Camera de Ar: 3 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS): 15 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 0.1 cm
5 - Poliestireno expandido (EPS) + LSF: 4 cm
6 - Placa de gesso cartonado: 1.5 cm
Espessura total: 25.0 cm
Caracterização térmica
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.18 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.18 W/(m ² .°C)
Capacidade térmica: 24403.34 J/m ² .°C

Figura 35 - Seção da cobertura E-CO2-1

Em ambos os softwares os *inputs* são os mesmos, possuindo interoperabilidade dos metadados. O que é diferenciada é apenas a opção regulamentar “Tipo de solução da envolvente”, não existente no DB-HE como coeficiente de passo.

3.4.8. Interoperabilidade BIM

Quase todas as características das matérias parametrizadas no Cypetherm REH foram importadas automaticamente pelo Cypetherm HE Plus, exceto as definições dos vãos envidraçados, pontes térmicas, sistemas técnicos, fontes de energia renováveis e dados climáticos.

3.5. Vãos envidraçados verticais

3.5.1. Vão opacos

Para as portas usamos o mesmo material construtivo das janelas. O coeficiente de absorção da radiação solar possui variação nos regulamentos.

3.5.2. Vão envidraçados verticais - Iglo Energy Classic PSK

Para os vãos envidraçados (janelas), temos várias opções de parametrização em ambos os *softwares*, porém com inputs diferentes, que são em relação as informações requeridas por cada regulamento.

Assumimos o item “8.1 (*Sombreamento do horizonte por obstruções*”, do Despacho n.º 15793-K/2013), que determina a adoção de um ângulo de 20° de horizonte por defeito, no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

O sombreamento por elementos horizontais (F_0) sobrejacentes aos vãos envidraçados ou por elementos verticais (F_i) – palas, por exemplo, ou distância entre a largura da parede, são calculados pelo ângulo obtido do elemento construtivo e o centro do vão envidraçado. Variam em relação ao comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e da estação climática do local, fornecidos pelas tabelas de 16 até a 19 do referido despacho.

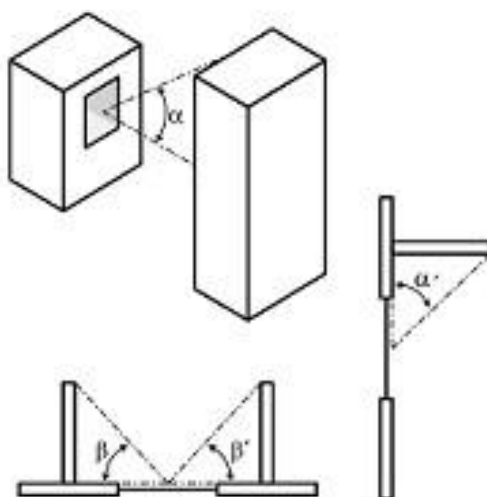


Figura 36 - Ângulos sombreamento por elementos horizontais ou vertical (Cypetherm REH)

☒ Com contribuição solar

Orientação E

☒ Sombras

Ângulo do horizonte (α) 20.00 °

Ângulo de obstrução com a horizontal (α') 16.00 °

Ângulo de obstrução vertical esquerda (β) 11.00 °

Ângulo de obstrução vertical direita (β') 11.00 °

Figura 37 - Aplicação Ângulos sombreamento por elementos horizontais ou vertical (Cypetherm REH)

Os cálculos de consumo e demanda energéticas foram feitos pelos algoritmos do Cypetherm. Assim, não descreveremos as fórmulas e a metodologia, que podem ser encontradas nos regulamentos REH e BH-HE.

Vão envidraçado (Tipo 1)

Designação da solução: E-VE1-L1

Descrição detalhada

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m²K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m²K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m²K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio

Tipo de janela: Dupla

☐ Fator solar global do vão envidraçado

☒ Coeficiente de transmissão (U)
 0.60 W/(m²·°C)
 UNECE

Vidro

Tipo: Duplo
←

Descrição sucinta: IGLO ENERGY CLASSIC PVC

Fração envidraçada (Fg) 0.65

Fator solar do vidro 0.20

Espessura da caixa de ar 4 mm

☒ **Caixilharia**

Tipo: De correr

☒ **Acessórios**

Descrição dos acessórios

Tabela 13 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar gtvsc
 Proteções exteriores - Persiana de réguas plásticas, Claras = 0.04
 Proteções interiores - Persiana, Clara = 0.40

+
□
✕
▲
▼
☰

Referência	Localização	Factor de redução solar
Proteções exteriores - Persiana de réguas plásticas, Claras	Exterior	0.04

Figura 38 - Parametrização do vão envidraçado (Cypetherm REH)

Para a referência de parâmetros na Espanha, utiliza-se o "DA DB-HE / 1 Cálculo de parâmetros característicos de la envolvente" em "2.2.4 Factor de sombra por obstáculos externos al hueco"

Referencia E-VE1-O1

Fracción acristalada ☐ Fracción opaca ☒ Accesorios ☒ Elementos de sombra ☐ Puentes térmicos planos ☐

☒ Voladizo (proyección horizontal)

Profundidad de la proyección del voladizo (PH) 0.170 m

Distancia al borde superior del hueco (RH) 1.050 m

Ángulo 20.0 grados

☒ Lateral izquierdo (proyección vertical)

Profundidad de la proyección del lateral (PV) 0.170 m

Distancia al borde lateral del hueco (RW) 1.000 m

☒ Lateral derecho (proyección vertical)

Profundidad de la proyección del lateral (PV) 0.170 m

Distancia al borde lateral del hueco (RW) 1.000 m

Figura 41 - Parametrização das sombras do vão envidraçado E-VE1-O1 (Cypetherm HE Plus)

Referencia E-VE1-L1

Fracción acristalada ☐ Fracción opaca ☒ Accesorios ☒ Elementos de sombra ☐ Puentes térmicos planos ☐

☒ Voladizo (proyección horizontal)

Profundidad de la proyección del voladizo (PH) 0.170 m

Distancia al borde superior del hueco (RH) 1.050 m

Ángulo 20.0 grados

☒ Lateral izquierdo (proyección vertical)

Profundidad de la proyección del lateral (PV) 0.170 m

Distancia al borde lateral del hueco (RW) 1.500 m

☒ Lateral derecho (proyección vertical)

Profundidad de la proyección del lateral (PV) 0.170 m

Distancia al borde lateral del hueco (RW) 1.500 m

Figura 42 - Parametrização das sombras do vão envidraçado E-VE1-L1 (Cypetherm HE Plus)

Fracción acristalada	☒ Fracción opaca	Accesorios	☒ Elementos de sombra	☐ Puentes térmicos planos
Coeficiente de transmisión de calor	0.60	W/(m ² ·K)		
Fracción opaca del hueco	0.05			
Absortividad	0.30			

Figura 43 - Parametrização da fração opaca do vão envidraçado (Cypetherm HE Plus)

Fracción acristalada	☒ Fracción opaca	Accesorios	☒ Elementos de sombra	☐ Puentes térmicos planos
☐ Residencial privado ☒ Otros usos				
☒ Con accesorios de protección solar				
Nombre	Proteções exteriores - Persiana de réguas plásticas, Claras			
Tipo	Persiana exterior ▼			
Coeficiente de transmisión solar	0.30			
Espesor	0.010	m		
Conductividad	0.100	W/(m·K)		
Tipo de control del sombreamiento	Activo si se supera la radiación solar incidente máxima en la ventana ▼			
Radiación solar máxima	300.00	W/m ²		

Figura 44 - Parametrização das persianas do vão envidraçado (Cypetherm HE Plus)

3.6. Pontes lineares

Por desenhar a construção no IFC Builder em um ambiente open BIM, já possuímos todos os dados de geometria da construção calculada e parametrizada, entre elas as pontes térmicas. Porém, por ser uma ferramenta para análise energética, o Cypetherm possui uma opção de cálculo automática.

Nas configurações de pontes lineares, aparecem possibilidades de algoritmos distintos. Ambas possibilitam a escolha EN ISO 10211, porém o Cypetherm REH tem um algoritmo para ISO 14683 também.

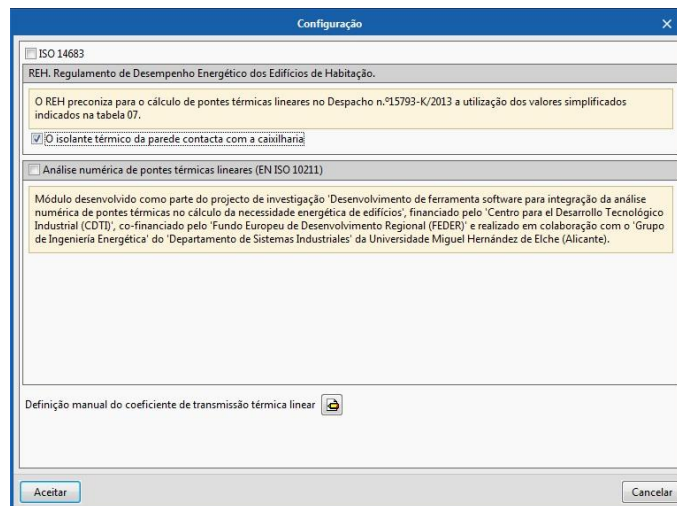


Figura 45 - Tabela configurações de pontes térmicas (Cypetherm REH)

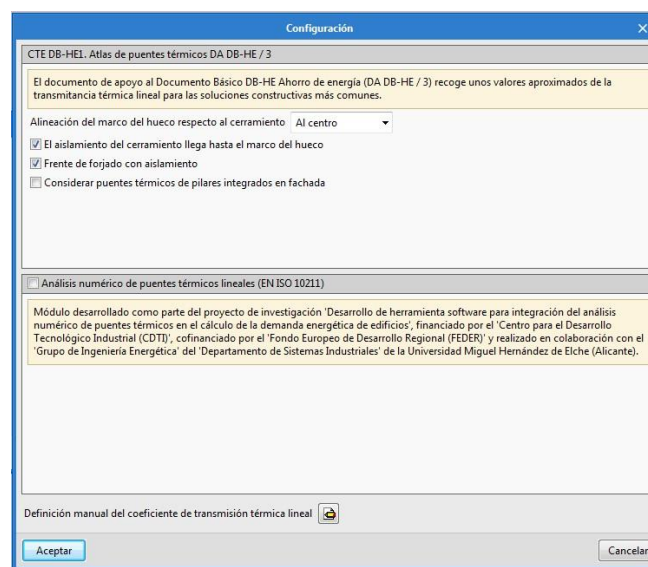


Figura 46 - Tabela configurações de pontes térmicas (Cypetherm HE Plus)

Em virtude de estamos usando estruturas em LSF com muito isolamento e um objeto representativo sem colunas, após a escolha das configurações apresentadas acima, com os valores do DA DB-HE / 3 e REH para pontes térmicas, foram apresentados os resultados abaixo:

1		Lfi [E]Radier nZeb LSF-[B]Fachada LSF nZeb(90)	0.700	Parâmetros térmicos
2		Lfs [G]Laje-[B]Fachada LSF nZeb(90)	0.700	Parâmetros térmicos
3		LWo [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0...	0.400	Parâmetros térmicos
4		TW [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.3...	-	Introduzido
5		Ws [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame co...	0.250	Parâmetros térmicos
6		Wl [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame co...	0.250	Parâmetros térmicos
7		Wi [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame c...	0.250	Parâmetros térmicos
8		Ws [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame c...	0.250	Parâmetros térmicos
9		Wl [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame c...	0.250	Parâmetros térmicos

Figura 47 - Calculo automático do Cypetherm REH das Pontes térmicas

1		LFi [E]Radier nZeb LSF-[B](c) hybrid frame construction - 22cm - ...	0.53	CTE DB-HE
2		LFs [G]Laje LSF-[B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.36(...	0.28	CTE DB-HE
3		LWo [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.36-[B](c) hybr...	0.07	CTE DB-HE
4		TW [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.36-[B](c) hybri...	0.08	CTE DB-HE
5		Ws [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame construction - 2...	-	CTE DB-HE
6		WI [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame construction - 2...	-	CTE DB-HE
7		Wi [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame construction - ...	0.08	CTE DB-HE
8		Ws [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame construction - ...	0.15	CTE DB-HE
9		WI [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame construction - ...	-0.03	CTE DB-HE

Figura 48 - Calculo automático do Cypetherm HE das Pontes térmicas

Então, optamos por fazer a inclusão manual dos valores de ponte térmica referentes as tabelas de coeficiente de transmitância para o nZeb, do zoneamento climático de Alcoutim, com base nos valores tabulados de transmissão térmica para ambos os regulamentos.

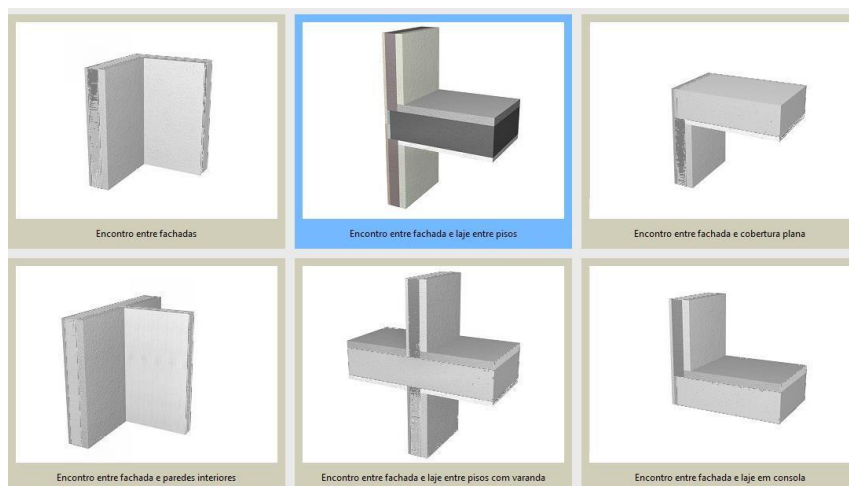


Figura 49 - Encolha manual parametrizada para as pontes térmicas Cypetherm REH

	Referencia	Psi	Valor	En uso
1	LFi [E]Radier nZeb LSF-[B](c) hybrid frame constructi...	0.45	Introducido	
2	LFs [G]Laje LSF-[B](c) hybrid frame construction - 22...	0.45	Introducido	
3	LWo [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.3...	0.40	Introducido	
4	TW [B](c) hybrid frame construction - 22cm - U 0.36...	0.45	Introducido	
5	Ws [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame con...	0.25	Introducido	
6	WI [J]Porta Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame cons...	0.25	Introducido	
7	Wi [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame co...	0.25	Introducido	
8	Ws [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame co...	0.25	Introducido	
9	WI [K]Janela Exotica Classe A-[B](c) hybrid frame co...	0.25	Introducido	

Figura 50 - Valores utilizados para ponte térmica Cypetherm HE Plus

Como nosso estudo está voltado para comparação dos regulamentos através da Metodologia BIM, não vamos entrar em pormenores das pontes térmicas lineares reais do LSF, por não termos estudos factuais das mesmas em nossa estrutura modelo.

3.6.1.1. Modelo de pontes térmicas usadas

Utilizamos o software Cypetherm Bridges para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares entre os elementos, composto com LSF, que realiza o cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional da transferência de calor, contemplando a norma EN ISO 10211. Os resultados são aplicados na Tabela abaixo e podem ser encontrados no Anexo II – Estudos das pontes térmicas Cypetherm Bridges.

1		S-PVE0-1-S-PDE1-0	0.10	ISO 14683
2		E-CO2-1-E-PD1-1	0.04	ISO 10211
3		I-PV1-1-E-PD1-1-S-PDE1-0	0.10	ISO 14683
4		I-PV1-1-S-PDE1-0-E-PD1-1	0.12	ISO 10211
5		I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	0.12	ISO 10211
6		I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	0.02	ISO 10211
7		I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	0.50	ISO 14683
8		I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	0.40	ISO 14683
9		S-PDE1-0-S-PDE1-0	0.10	ISO 14683
10		E-PD1-1-E-PD1-1	0.03	ISO 10211
11		E-PD1-1-E-PD1-1	0.04	ISO 14683
12		Inf - E-VE1-L1-E-PD1-1	0.50	Introducido
13		Sup - E-VE1-L1-E-PD1-1	0.50	Introducido
14		Lat - E-VE1-L1-E-PD1-1	0.50	Introducido
15		Inf - E-VE1-O1-E-PD1-1	0.50	Introducido
16		Sup - E-VE1-O1-E-PD1-1	0.50	Introducido
17		Lat - E-VE1-O1-E-PD1-1	0.50	Introducido
18		Inf - E-VE1-S1-E-PD1-1	0.50	Introducido
19		Sup - E-VE1-S1-E-PD1-1	0.50	Introducido
20		Lat - E-VE1-S1-E-PD1-1	0.50	Introducido

Figura 51 -Pontes térmicas usadas no Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus(Cypetherm REH)

4. SISTEMA DE CONDICIONAMENTO E PREPARAÇÃO DE AQ'S

Utilizamos o valor de 0.5 R_{ph} , conforme o caudal mínimo de ventilação da "Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS" referida na dissertação.

Tipos de recinto (Tipo 7)

Referencia

☒ **Habitable**
☐ No habitable
 ☐ No definido

☒ **Residencial privado**

Ventilación

Figura 52 - Ventilação por espaço (Cypetherm HE Plus)

Sistemas de ventilação (Tipo 1)

Dados gerais

Designação da solução

Descrição da solução de ventilação

Sistema de ventilação ☒ De acordo com a norma NP 1037-1

☐ Foi medido o valor n50?
☐ Tem aberturas de admissão de ar na fachada?

☐ Existem meios de ventilação natural?
☒ Existem meios mecânicos?

Qual o tipo de escoamento de ar?

Potência dos ventiladores W

☐ Existem meios híbridos?

Informação adicional

Rphi	0.500	h ⁻¹
Rphv	0.600	h ⁻¹
Rph estimada	0.500	h ⁻¹
Rph min	0.400	h ⁻¹
☐ Rendimento do sistema de recuperação de calor		
Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (Wmv)	211.9	kWh/ano

Figura 53 - Parametrização sistema de ventilação Cypetherm REH (Cypetherm REH)

Figura 54 - Parametrização sistema de ventilação Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

4.1. Necessidade de AQS

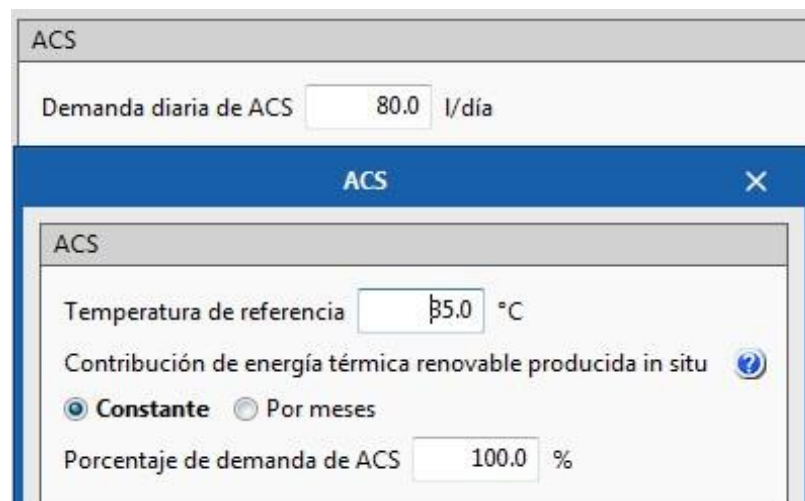
4.1.1. CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

Para a energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaico, utilizamos o *software* (i017513.xlsm) do Sistema de Certificação de Energética dos Edifícios (SCE), que oferece a metodologias oficial para os dos dados e cálculos de aproveitamento de Energias Renováveis em edifícios (SCE.ER), fornecido pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) de Portugal, conforme obrigatoriedade do Despacho n.º 3156/2016, de 1 de março; e nº 14985/2015, de 17 de dezembro. Mais informações do relatório gerado estão no Anexo III - Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico, que descreve a necessidades de energia para AQS regulamentar (REH) de 1,188 kWh, os quais terão 1,060 kWh (89%) satisfeitas por origem solar e 11% pelo satisfeitas pelo apoio.

Tabela 4 - Relatório de fornecimento de Energia Solar Térmica

fornecimento de água quente	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
necessidades (consumo de energia útil)	110	98	106	101	101	92	91	91	90	99	101	108	1,188 kWh
energia de origem solar (útil)	79	81	98	93	96	91	91	91	90	92	82	77	1,060 kWh
energia com origem no apoio (útil)	31	17	8	8	5	1	0	0	0	7	20	31	128 kWh
perdas térmicas no armazenamento	46	51	74	79	88	96	112	117	97	77	54	44	936 kWh
consumos eléctricos parasíticos	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	81 kWh
energia final (calor de origem solar)	121	123	166	163	175	179	192	198	176	155	129	109	1,888 kWh

Considera-se um aumento de temperatura necessário para a preparação de AQS de 35°C, isto é, o acréscimo de temperatura dado à água da rede, para efeitos de cálculo, toma o valor de referência de 35°C. (Guia SCE - Indicadores de desempenho)



ACS

Demanda diaria de ACS 80.0 l/día

ACS

Temperatura de referencia 35.0 °C

Contribución de energía térmica renovable producida in situ

☒ Constante ☐ Por meses

Porcentaje de demanda de ACS 100.0 %

Figura 55 - Parametrização Energia Solar térmica para AQS Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

5. Equipamentos

O sistema de equipamentos em ambas as normativas possuem similar características. No entanto, possuem metodologias de cálculos distintas e muitas vezes com solicitações de valores com unidades diferentes para mesma característica física, da eficiência energética do equipamento.

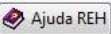
			
Aquecimento	Arrefecimento	A.Q.S.	Renovável
			
Equipamento			
☒ Equipamento de referência Se ativar esta opção, o equipamento é considerado como de referência, consecutivamente não estará presente no relatório de peritagem, nem na exportação para XML. Caso contrário estará presente.			
Designação da solução	AQS Solar Térmica - Bomba de Calor		
Fonte de energia	Electricidade		
Tipo de equipamento	VRF		
Informação adicional			
Potência	30.00 kW		
Eficiência do sistema(η)	1.00		
Eficiência sazonal COP/dia	3.77		
Eficiência do sistema(η_{ref})	1.00		
Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema(f_a)	1.00		
☒ Isolamento aplicado na tubagem de distribuição do sistema de AQS que garante uma resistência térmica de, pelo menos, 0,25 m ² .°C/W			
Eficiência hídrica de chuveiros ou sistemas de duche	Rótulo A ou superior		

Figura 56 - Parametrização AQS Solar Térmica - Bomba de Calor Cypetherm REH

Referencia	AQS Solar Térmica - Bomba de Calor				
Porcentaje de la demanda de ACS cubierto	100 %				
 Equipo genérico  Red de distrito  Aeroterminia  Bomba de calor para ACS  Geotermia					
Equipo de producción					
Descripción	AQS Solar Térmica - Bomba de Calor				
Tipo de vector energético	Electricidad				
Potencia nominal	30.00 W				
Rendimiento medio estacional	3.77				
☒ Bomba de calor					
☐ Acumulador					

Figura 57 - Parametrização AQS Solar Térmica - Bomba de Calor Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

Sistemas de geração (Tipo 1)


Aquecimento


Arrefecimento


A.Q.S.


Renovável

 Ajuda REH

Equipamento

Designação da solução: Energia Renovável Solar Térmica
 Fonte de energia: Solar
 Tipo de equipamento: Painel solar térmico

Identificação do sistema técnico

Marca: Relatório SCE_ER
 Modelo: 4 coletores Padrão REH
 Gama: Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico
 Descrição detalhada:


Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 2,6 m² de coletores com inclinação 35° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 200L, apoio de montagem em série com controlo temporizado. Circuito primário com 24 m de comprimento, sem permutador externo, tubagens de calibre 12 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 30 kW, garantindo um caudal nominal de 46 l/h, fluido circulante com 25% de anticongelante. 4 coletores Padrão REH. Área de abertura 0,65 m², coeficientes de perdas térmicas a1 = 4,12 W/m²K e a2 = 0,014 W/m²K, rendimento óptico =

Informação adicional

Energia produzida a partir de fontes de origem renovável, incluindo apenas energia consumida (Eren)	1060.0	kWh/ano
Parcela para aquecimento	0.00	%
Parcela para arrefecimento	0.00	%
Parcela para AQS	100.00	%
Área total de coletores	2.55	m ²
Perdas estáticas solução	2.00	
Perdas estáticas limite	2.00	
Valor de referência calculado para a energia renovável	1060.00	kWh/ano
Produtividade de referência	408.00	kWh/m ² -coletor

Figura 58 - Parametrização Energia Solar térmica Cypetherm REH

Fuentes de energía

Factores de conversión de la energía

Sistemas de producción de energía eléctrica in situ

☒ Producción de energía definida ☐ Toda la energía eléctrica consumida es generada

+ ✎ 📄 ✕ ▲ ▼

Referencia	Fuente de energía	Energía producida (kWh/año)
Energía Renovável Solar Térmica	Renovable	1061.00

Sistema

Referencia: Energía Renovável Solar Térmica

Fuente de energía: Renovable

Energía producida

Enero	79.00 kWh
Febrero	81.00 kWh
Marzo	98.00 kWh
Abril	93.00 kWh
Mayo	96.00 kWh
Junio	91.00 kWh
Julio	91.00 kWh
Agosto	91.00 kWh
Septiembre	90.00 kWh
Octubre	92.00 kWh
Noviembre	82.00 kWh
Diciembre	77.00 kWh

Aceptar Cancelar

Figura 59 - Parametrização Energia Solar térmica Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento são marcados como equipamentos de referência para não ter seu rendimento reduzido, assumindo uma eficiência total. Isso porque no Cypetherm REH não existe esse parâmetro. Optamos por manter as equivalências dos equipamentos, deixando essa análise para a eficiência sazonal.

Sistemas de geração (Tipo 3)

☒ Aquecimento
 ☐ Arrefecimento
 ☐ A.Q.S.
 ☐ Renovável

[Ajuda REH](#)

Equipamento

☒ Equipamento de referência

Se ativar esta opção, o equipamento é considerado como de referência, consecutivamente não estará presente no relatório de peritagem, nem na exportação para XML. Caso contrário estará presente.

Designação da solução: Multi-Split (ar-ar) - Aquecimento

Fonte de energia: Electricidade

Tipo de equipamento: Multi-Split

Informação adicional

Potência	4.50	kW
Eficiência do sistema(η)	1.00	
Eficiência sazonal COP/dia	4.36	
Eficiência do sistema(η_{ref})	1.00	
Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema(f_i)	1.00	

Figura 60 - Parametrização do Aquecimento Cypetherm REH (Cypetherm REH)

Sistemas de geração (Tipo 4)

☐ Aquecimento
 ☒ Arrefecimento
 ☐ A.Q.S.
 ☐ Renovável

[Ajuda REH](#)

Equipamento

☒ Equipamento de referência

Se ativar esta opção, o equipamento é considerado como de referência, consecutivamente não estará presente no relatório de peritagem, nem na exportação para XML. Caso contrário estará presente.

Designação da solução: Multi-Split (ar-ar) - Arrefecimento

Fonte de energia: Electricidade

Tipo de equipamento: Multi-Split

Informação adicional

Potência	3.00	kW
Eficiência do sistema(η)	1.00	
Eficiência sazonal COP/dia	4.46	
Eficiência do sistema(η_{ref})	1.00	
Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema(f_v)	1.00	

Figura 61 - Parametrização do Arrefecimento Cypetherm REH (Cypetherm REH)

Na parametrização do equipamento de Multi-Split(ar-ar) de arrefecimento e aquecimento, usamos os valores COP e EER, ao invés do SCOP e do SEER, para manter o *input* igual, gerando mais exatidão nos *outputs*.

The screenshot displays the 'Calefacción' (Heating) and 'Refrigeración' (Refrigeration) settings in the Cypetherm HE Plus software. At the top, there are three icons: a sun, a snowflake, and a sun with a snowflake. The 'Calefacción' section on the left includes a checked 'Potencia' (Power) of 3.00 W, a 'Rendimiento medio estacional' (Seasonal average efficiency) of 4.36, 'Tipo de vector energético' (Energy vector type) set to 'Electricidad' (Electricity), and 'Programación del funcionamiento' (Operating schedule) set to 'Siempre disponible' (Always available). The 'Refrigeración' section on the right includes a checked 'Potencia' of 3.00 W, a 'Rendimiento medio estacional' of 4.46, 'Tipo de vector energético' set to 'Electricidad', and 'Programación del funcionamiento' set to 'Siempre disponible'.

Figura 62 - Parametrização do Arrefecimento e Aquecimento Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

5.1. Condições operacionais e conforto interior

Como o RCCTE define como temperatura de conforto em 20°C para a estação de aquecimento e de 25°C para a estação de arrefecimento, configura-se o Cypetherm HE plus com esses valores. A diferença entre as duas temperaturas interiores, real e de conforto, conduz a existência de necessidades de aquecimento e arrefecimento do espaço ocupado.

The screenshot shows the 'Condiciones operacionales y confort interior' (Operational conditions and indoor comfort) dialog box. It features a dropdown for 'Condiciones operacionales' set to 'Temperaturas de consigna CTE' and a dropdown for 'Periodo de utilización' set to 'Uso residencial'. Below these, a yellow box displays 'Temperatura mínima de confort: 20.0 °C.' and 'Temperatura máxima de confort: 25.0 °C.'. On the right, a smaller version of the dialog box is shown with checkboxes for 'Temperatura mínima de confort' (checked, 20.0 °C) and 'Temperatura máxima de confort' (checked, 25.0 °C).

6. INÉRCIA TÉRMICA

Por usarmos o sistema em LSF com muito isolamento e sem a representação do aço, o software Cypetherm REH não possui algoritmos para realizar os cálculos de inércia térmica adequadamente. O que se percebe no “Anexo XIII - (REH) Capacidade térmica”.

Então de acordo com Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, no artigo 6 – QUANTIFICAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA:

"5 - No caso de elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente (EL1), o valor de "Msi" nunca pode ser superior a 150 kg/m2, sendo que:

b) Para todos os elementos com uma camada de isolamento térmico, " M_{si} " = " m_i ", em que " m_i " é a massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior com exceção das situações em que exista uma caixa de ar entre o isolamento térmico e a face interior, onde " m_i " corresponderá à massa do elemento desde a caixa de ar até à face interior.

6 - No caso de elementos em contacto com o solo (EL2), o valor de " M_{si} " nunca pode ser superior a 150 kg/m², sendo que:

b) No caso de elementos com uma camada de isolamento térmico, " M_{si} " = " m_i ", onde " m_i " corresponderá à massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior.

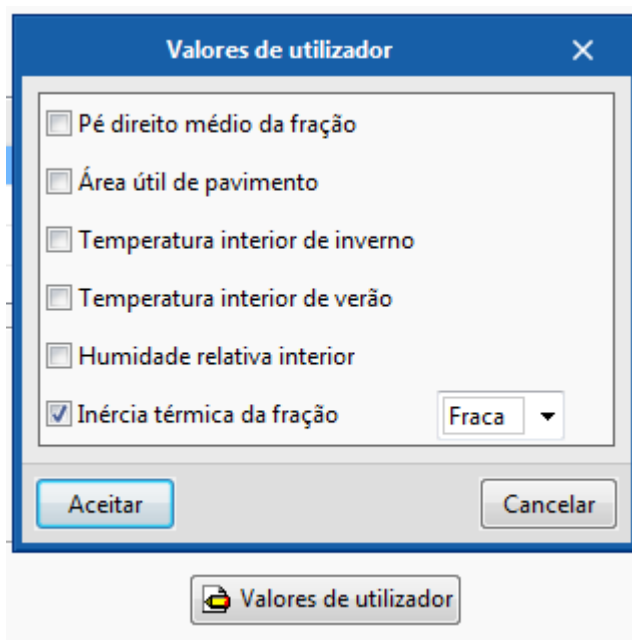
7 - No caso de elementos de compartimentação interior da fração autónoma, compreendendo parede ou pavimento (EL3), o valor de " M_{si} " nunca poderá ser superior a 300 kg/m², sendo que:

b) No caso de elementos com uma camada de isolamento térmico, o valor de " M_{si} " = " m_i ", tem de ser avaliado de forma isolada em cada um dos lados da camada de isolamento térmico, sendo que em cada um dos lados " M_{si} ", onde " m_i " corresponderá à massa do elemento desde o isolamento térmico até à face em análise;

c) Para os devidos efeitos, os parciais de " M_{si} " mencionados na alínea anterior nunca podem ser superiores a 150 kg/m²."

Além disso, temos em "6.2. Fator de redução da massa superficial" o valor que sempre está como 1.

Dessa forma, a correção manual força os fatores de passos para os valores corretos de inércia térmica FRACA.



7. ESTRUTURA

Tipos de recinto (Tipo 4)

Referencia: Cobertura

☐ Habitable ☒ No habitable

Ventilación: 0.00 l/(s·m²)

☐ Iluminación

Equipamiento interno

+ [edit icon] [copy icon] [delete icon] [up/down arrows]

Nombre

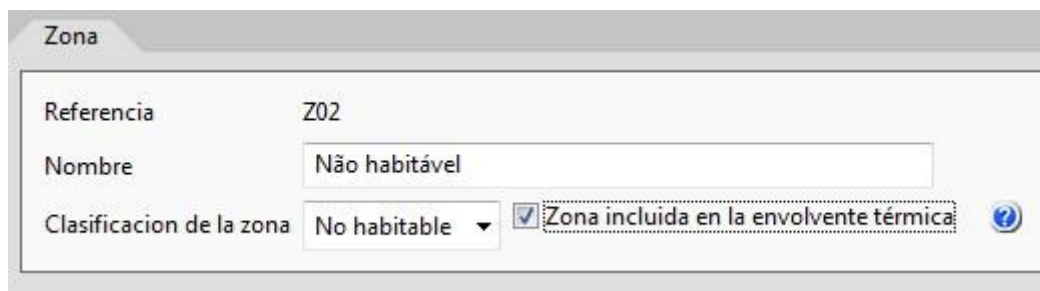
Aceptar Cancelar

Figura 64 - Recinto não habitável no Cypetherm HE Plus (Cypetherm HE Plus)

7.1. Coeficiente de redução de perdas

O coeficiente de redução de perdas é um parâmetro que busca equilibrar os cálculos existentes entre os espaços não úteis com pouca ventilação da área externas.

7.1.1. Cypetherm HE Plus



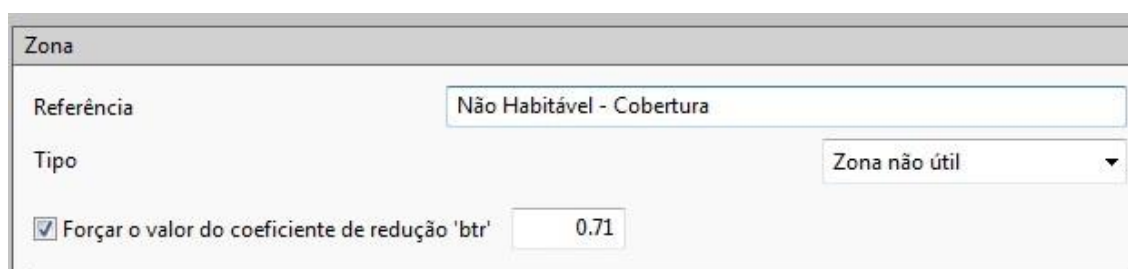
The screenshot shows the 'Zona' (Zone) configuration window in Cypetherm HE Plus. It contains the following fields and options:

- Referencia:** Z02
- Nombre:** Não habitável
- Clasificación de la zona:** No habitable (dropdown menu)
- ☒ **Zona incluida en la envolvente térmica:** (checked checkbox with a help icon)

Figura 65 - Zona não habitável – Cava e Cobertura (Cypetherm HE Plus)

7.1.2. Cypetherm REH

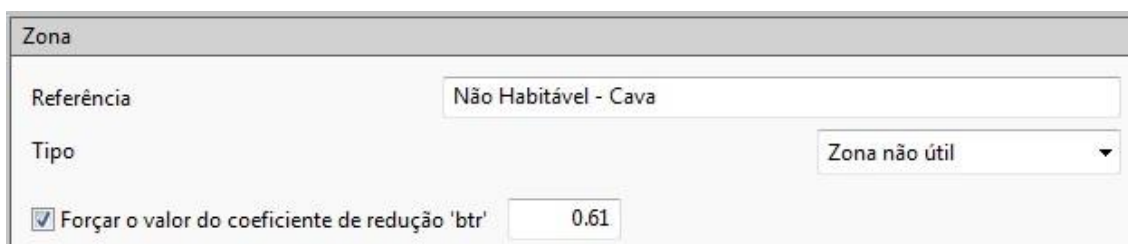
Para igualar os coeficientes de redução de perdas, é necessário usar a estratégia de separar em zonas no Cypetherm REH, a fim de poder inserir as informações fornecidas pelo Cypetherm HE Plus, pois o mesmo não permite realizar essa alteração em seus parâmetros



The screenshot shows the 'Zona' configuration window in Cypetherm REH for the 'Cobertura' (Roof) zone. It contains the following fields and options:

- Referência:** Não Habitável - Cobertura
- Tipo:** Zona não útil (dropdown menu)
- ☒ **Forçar o valor do coeficiente de redução 'btr':** 0.71

Figura 66 - Zona não habitável – Cobertura (Cypetherm REH)



The screenshot shows the 'Zona' configuration window in Cypetherm REH for the 'Cava' (Cellar) zone. It contains the following fields and options:

- Referência:** Não Habitável - Cava
- Tipo:** Zona não útil (dropdown menu)
- ☒ **Forçar o valor do coeficiente de redução 'btr':** 0.61

Figura 67 - Zona não habitável – Cava (Cypetherm REH)

Os balanços de energia são efetuados em condições nominais, considerando-se uma temperatura interior de 18°C na estação de aquecimento e de 25°C na estação de arrefecimento. Porém, como os softwares possuem formulações diferentes,

resolvemos não forçar os coeficientes de redução de perdas, deixando o cálculo a ser efetuado pelo Cypetherm REH.

Zona

Referência

Não Habitável - Cava

Tipo

Zona não útil

☐ Forçar o valor do coeficiente de redução 'btr'

Nível de estanqueidade

☒ Estanque

☐ Sem aberturas de ventilação

☐ Pequenas aberturas de ventilação

☐ Aberturas de ventilação permanentes

☐ Aberto

☐ Outros

Nem portas nem janelas, todas as uniões entre os componentes bem vedadas, sem aberturas de ventilação (0,1/h).

Figura 68 - Zona por defeito do Cypetherm REH

8. RESULTADOS DA CONDENSAÇÕES

Apresentamos os resultados informando que não há condensações

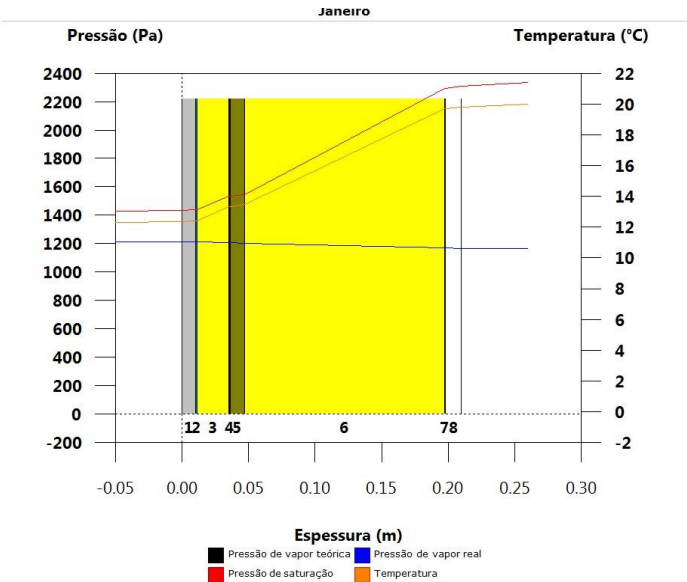


Figura 69 - Gráfico de pressão de condensações

9. ARVORE DE ELEMENTOS CYPETHERM

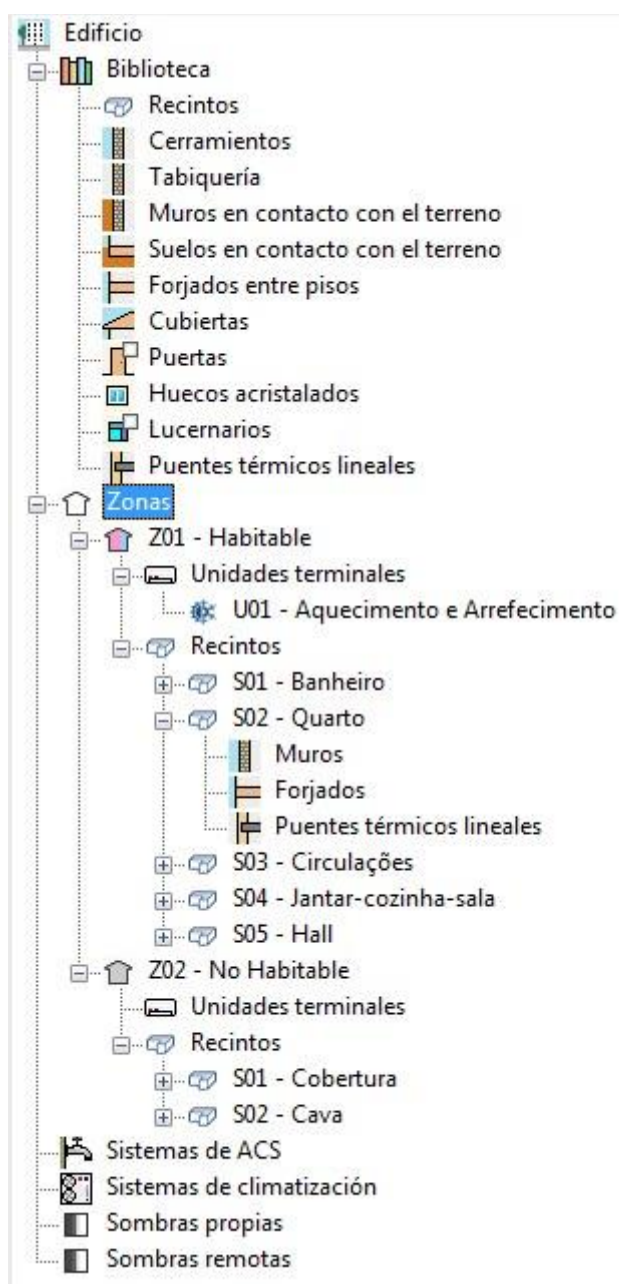


Figura 70 - Estrutura Cypetherm HE Plus

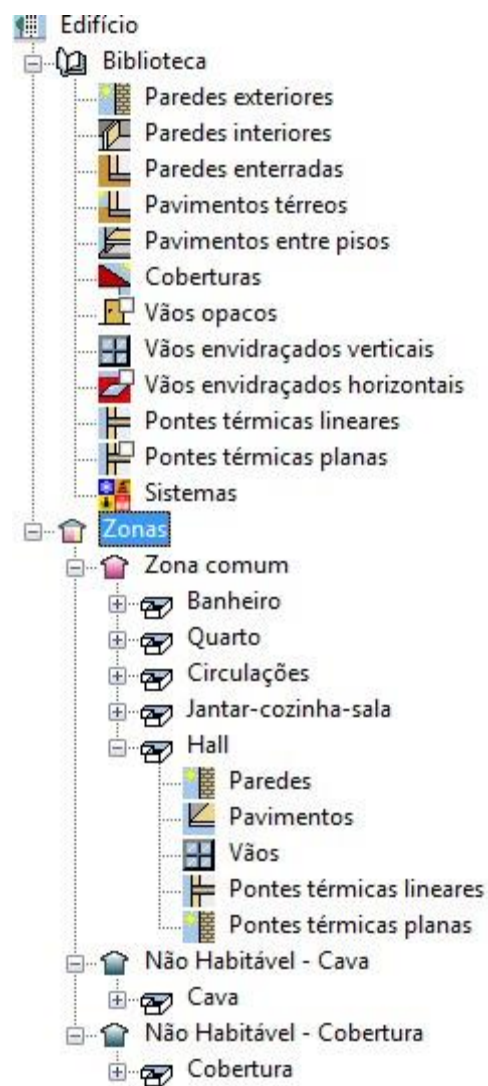


Figura 71 -Estrutura Cypetherm REH

10. CONCLUSÃO Cypetherm REH E Cypetherm HE Plus

Alguns limites encontrados no fluxo de trabalho *openBIM*, nos materiais construtivos, foram a impossibilidade de exportação e importação dos dados para todos os elementos parametrizados. Uns por não possuírem esta opção disponível e outros, por gerarem arquivos com metadados diferentes.

Nas paredes percebe-se o acréscimo de uma casa decimal na parametrização da Resistência Térmica no Cypetherm REH, apresentando maior precisão nos resultados encontrados. Porém necessita mais processamento e espaço para alocação

Apresentam características distintas como definições de zonas (Ambientes) de construção, tipos de sistemas, recintos e sombreamento, que não possuem nenhum tipo de interoperabilidade. Em pontes lineares, como já descrito em capítulo anterior, cada *software* tem seu próprio algoritmo, que é responsável pelo procedimento na metodologia BIM, se relacionado por metadados. Estes procedimentos são escritos com mais ou menos informações, conforme os cálculos a serem solicitados. Assim o Cypetherm REH e HE Plus, integram as informações do IFC Builder, pré-configurando informações genéricas para preenchimento do banco de dados necessário para os cálculos dos regulamentos.

	Referência	Psi	Valor	Em utilização	
1	Lfi [E]Radier nZeb LSF-[B]Fachada LSF n...	0.500	Sem definir		
2	Lfs [G]Laje-[B]Fachada LSF nZeb(90)	0.500	Sem definir		
3	Tfi [E]Radier nZeb LSF-[E]Radier nZeb LS...	0.500	Sem definir		
4	Tfs [G]Laje-[G]Laje(180)-[C]interior(90)	0.500	Sem definir		
5	LWo [B]Fachada LSF nZeb-[B]Fachada LS...	0.500	Sem definir		
6	LWo [C]interior-[C]interior(90)	0.500	Sem definir		
7	LWi [C]interior-[C]interior(90)	0.500	Sem definir		
8	TW [B]Fachada LSF nZeb-[B]Fachada LSF...	0.500	Sem definir		
9	TW [C]interior-[B]Fachada LSF nZeb(90)-...	0.500	Sem definir		
10	TW [C]interior-[C]interior(180)-[C]interio...	0.500	Sem definir		
11	TW [C]interior-[C]interior(90)-[C]interio...	0.500	Sem definir		
12	TW [C]interior-[C]interior(90)-[C]interio...	0.500	Sem definir		
13	Ws [J]Portas-[B]Fachada LSF nZeb	0.500	Sem definir		
14	Wi [J]Portas-[B]Fachada LSF nZeb	0.500	Sem definir		
15	Wi [K]Janela-[B]Fachada LSF nZeb	0.500	Sem definir		
16	Ws [K]Janela-[B]Fachada LSF nZeb	0.500	Sem definir		
17	Wi [K]Janela-[B]Fachada LSF nZeb	0.500	Sem definir		

TW [C]interior-[C]interior(180)-[C]interior(90)	
Descrição	
Psi	0.500 W/(m²C)
Valor	Sem definir
Tipo de encontro	Ligação não especificada pela norma

Figura 72 - Préconfiguração Cypetherm REH dos Metadatos IFC Builder

Os softwares possuem configurações que podem gerar falsos resultados se não forem alteradas com responsabilidade pelo analista energético. Além de existir coeficientes de cálculos em seus algoritmos que não podem ser alterados diretamente, existe a necessidade de *updates* e atualizações para trabalhar com as novas diretrizes regulamentares.

Anexo II – Pontes térmicas dos elementos em LSF

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MODELO DE CÁLCULO GERADO.....	2
3. TERMOGRAMAS.....	4
4. ISOTERMAS.....	5
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR.....	6
6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO.....	7
7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR.....	7

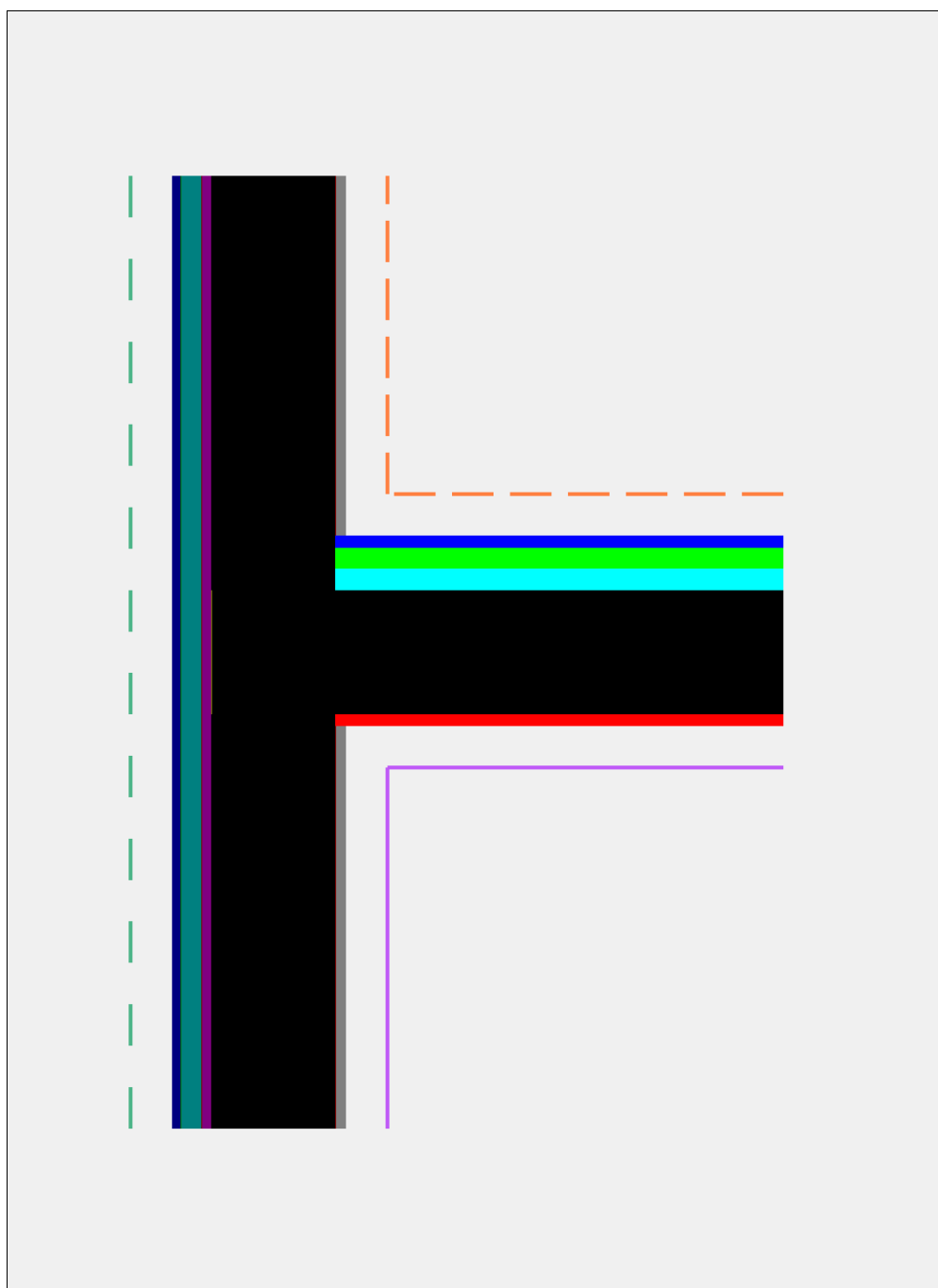
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares realiza-se um cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional para transferência de calor contemplado na norma EN ISO 10211.

O método dos elementos finitos aplicado à análise de pontes térmicas implica a geração de um modelo discreto através de nós e elementos (neste caso, triangulares), assim como a resolução do sistema de equações resultante, sobre o que foram aplicadas as correspondentes condições de contorno. Desta forma, obtém-se o campo de temperaturas, assim como as componentes do fluxo de calor sobre o modelo. A integração dos referidos fluxos de calor sobre os bordos do modelo, e a sua comparação com os fluxos de calor 'teóricos' correspondentes às transmitâncias superficiais nos referidos bordos, proporciona o valor da transmitância linear da ponte térmica.

2. MODELO DE CÁLCULO GERADO



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

Tabela de materiais			
	Referência	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))	Espessuras utilizadas (cm)
	Reboco com textura e pintura	0.5	1.0
	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.03	0.1
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	2.4
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.02	0.1
	Painéis de lamelas longas (OSB)	0.14	1.1
	Lã de rocha (MW)	0.001	0.1
	Lã de rocha (MW) +LSF	0.04	15.0
	Placa de gesso cartonado	0.24	1.2
	Placa de gesso cartonado	0.25	1.5
	Lã de rocha (MW)	0.04	2.5
	OSB multilaminado / Neopreno (policloropreno)	0.114	2.6
	Painéis de lamelas longas (OSB)	0.13	1.4

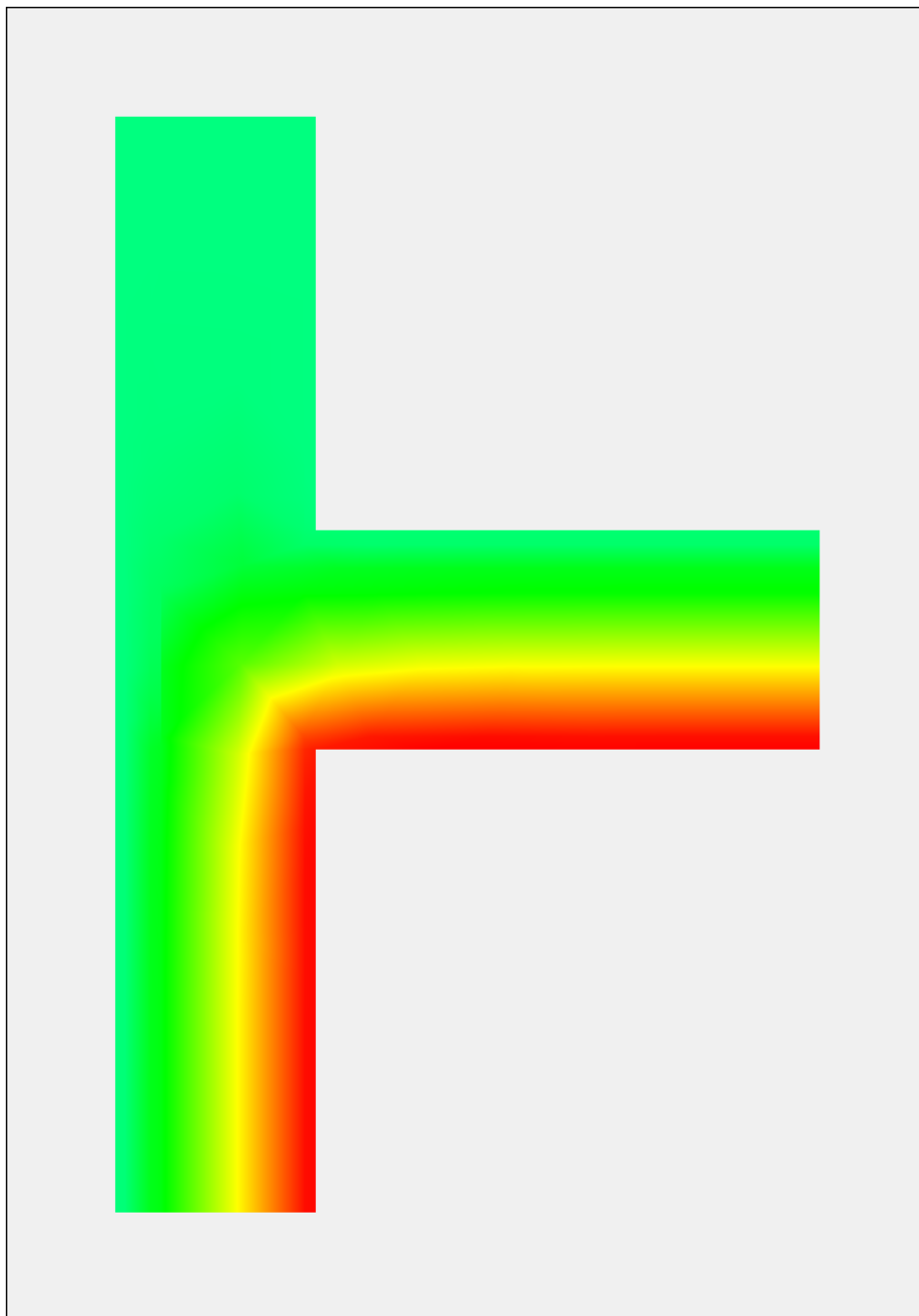
Condições de contorno	
Temperatura exterior	0.00 °C
Temperatura interior	20.00 °C
Coeficiente de convecção exterior, fluxo vertical	25.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo ascendente	10.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo descendente	5.88 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo horizontal	7.69 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção exterior, fluxo horizontal	25.00 W/(m²·°C)

Contorno do modelo	
	Bordo analisado
	Bordo interior, local não climatizado
	Bordo exterior

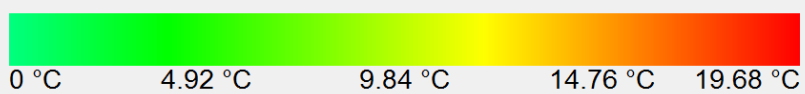
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

3. TERMOGRAMAS

[Produzido por uma versão educativa de CYPE](#)

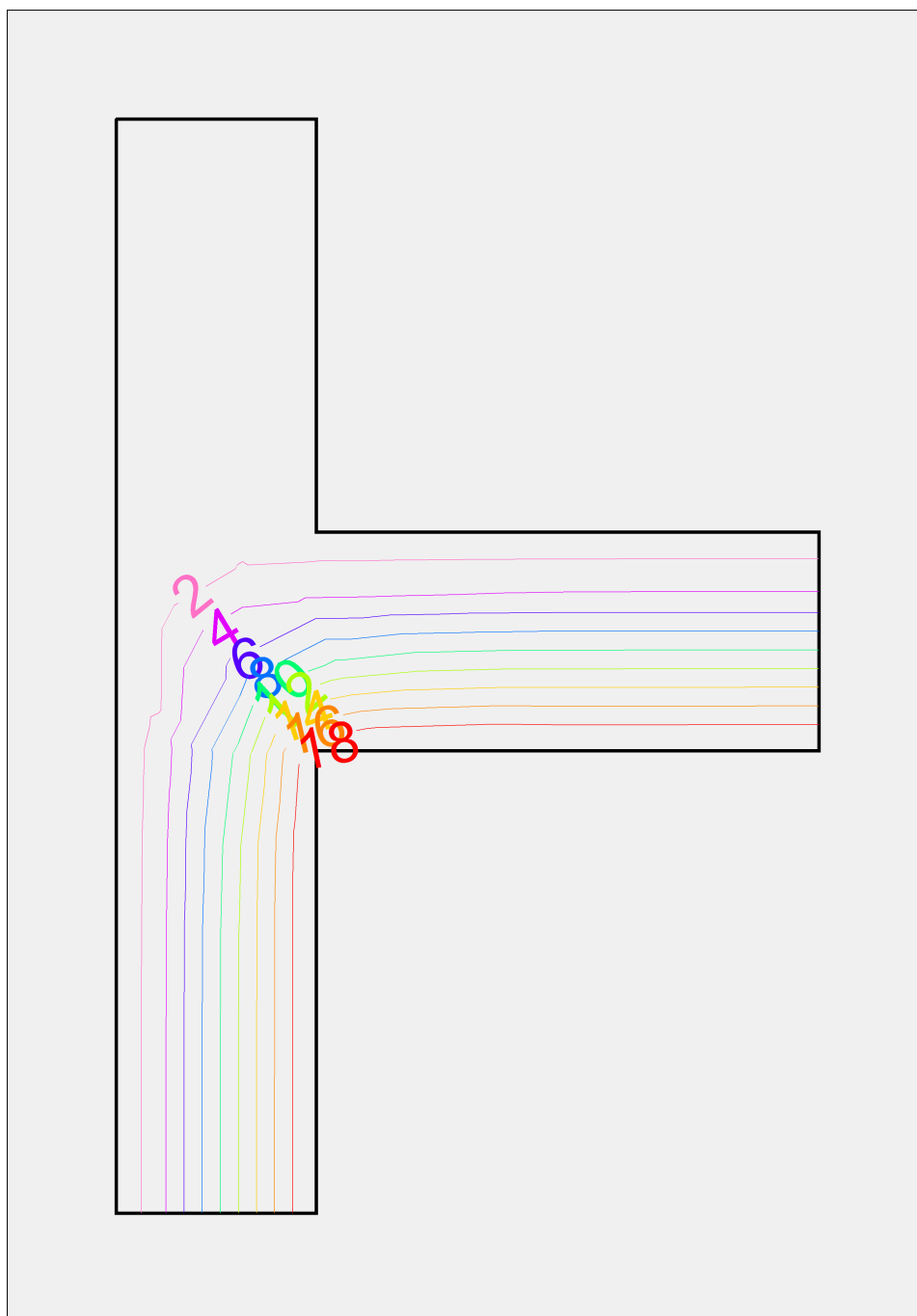


Escala de valores utilizada



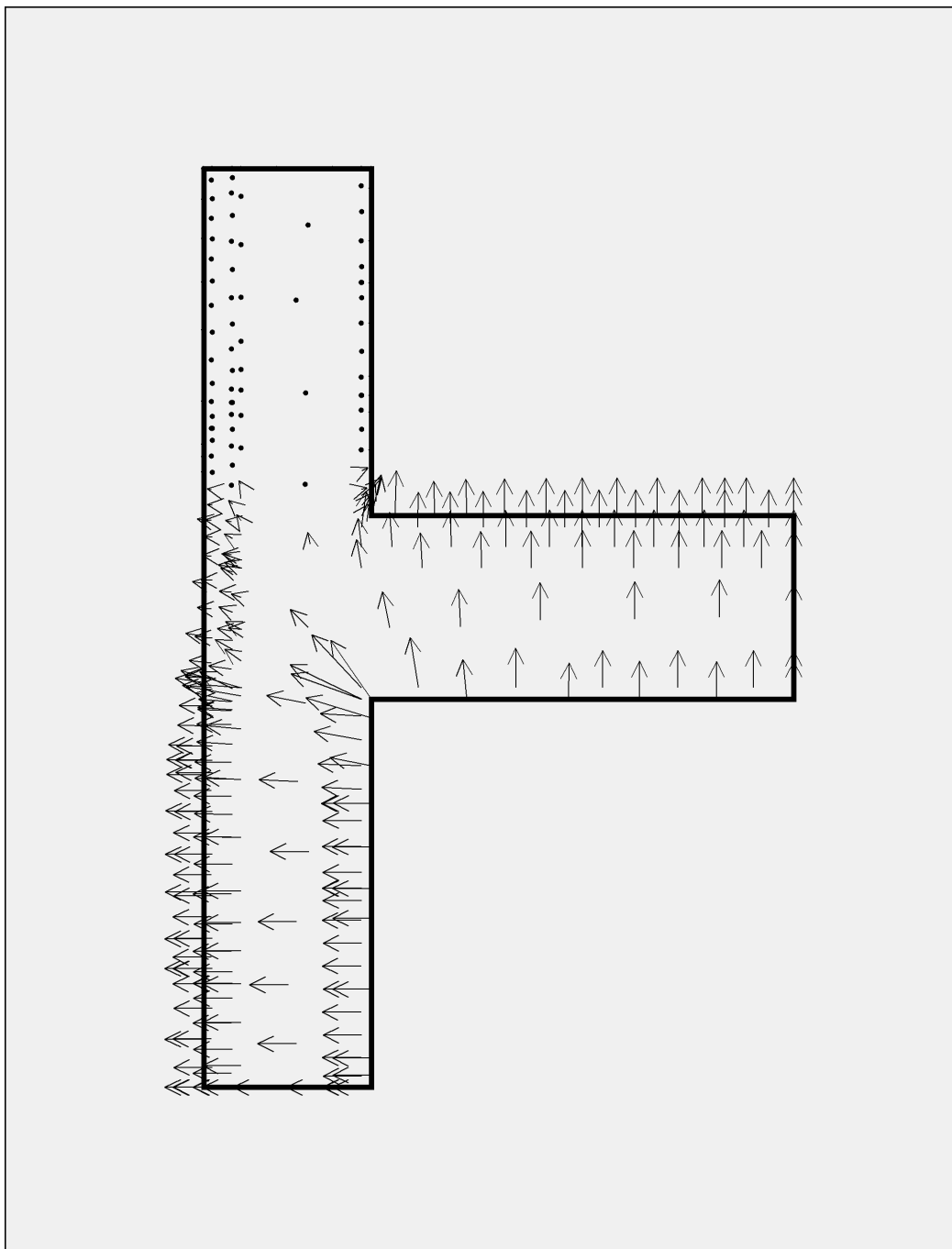
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

4. ISOTERMAS



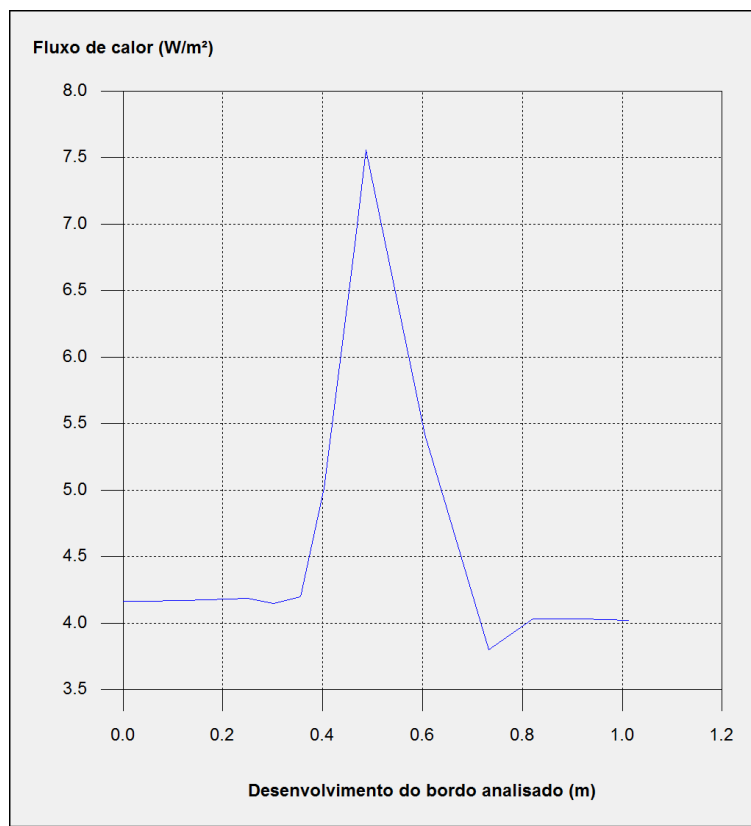
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO



CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

Fluxo de calor teórico	4.174 W/m
Fluxo de calor real	4.664 W/m
Salto térmico	20.00 °C
Coefficiente de transmissão térmica U	0.206 W/(m²·°C)
Coefficiente de transmissão térmica calculado	0.024 W/(m·°C)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MODELO DE CÁLCULO GERADO.....	2
3. TERMOGRAMAS.....	4
4. ISOTERMAS.....	5
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR.....	6
6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO.....	7
7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR.....	7

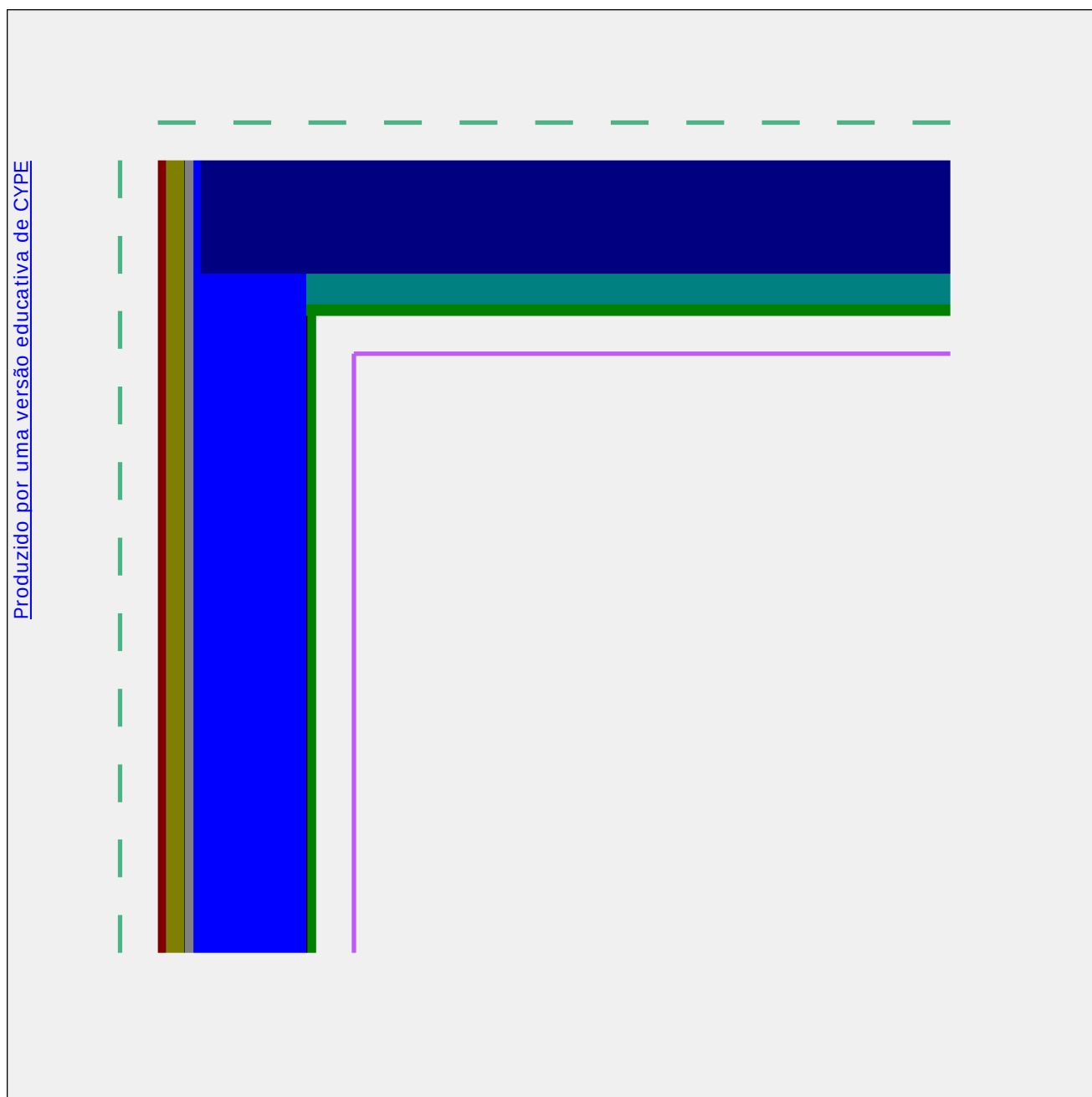
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares realiza-se um cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional para transferência de calor contemplado na norma EN ISO 10211.

O método dos elementos finitos aplicado à análise de pontes térmicas implica a geração de um modelo discreto através de nós e elementos (neste caso, triangulares), assim como a resolução do sistema de equações resultante, sobre o que foram aplicadas as correspondentes condições de contorno. Desta forma, obtém-se o campo de temperaturas, assim como as componentes do fluxo de calor sobre o modelo. A integração dos referidos fluxos de calor sobre os bordos do modelo, e a sua comparação com os fluxos de calor 'teóricos' correspondentes às transmitâncias superficiais nos referidos bordos, proporciona o valor da transmitância linear da ponte térmica.

2. MODELO DE CÁLCULO GERADO



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

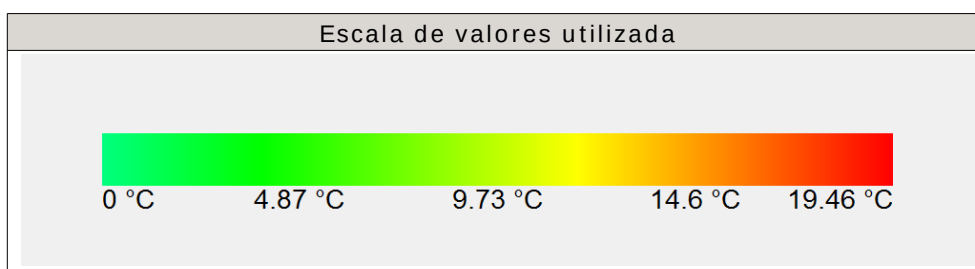
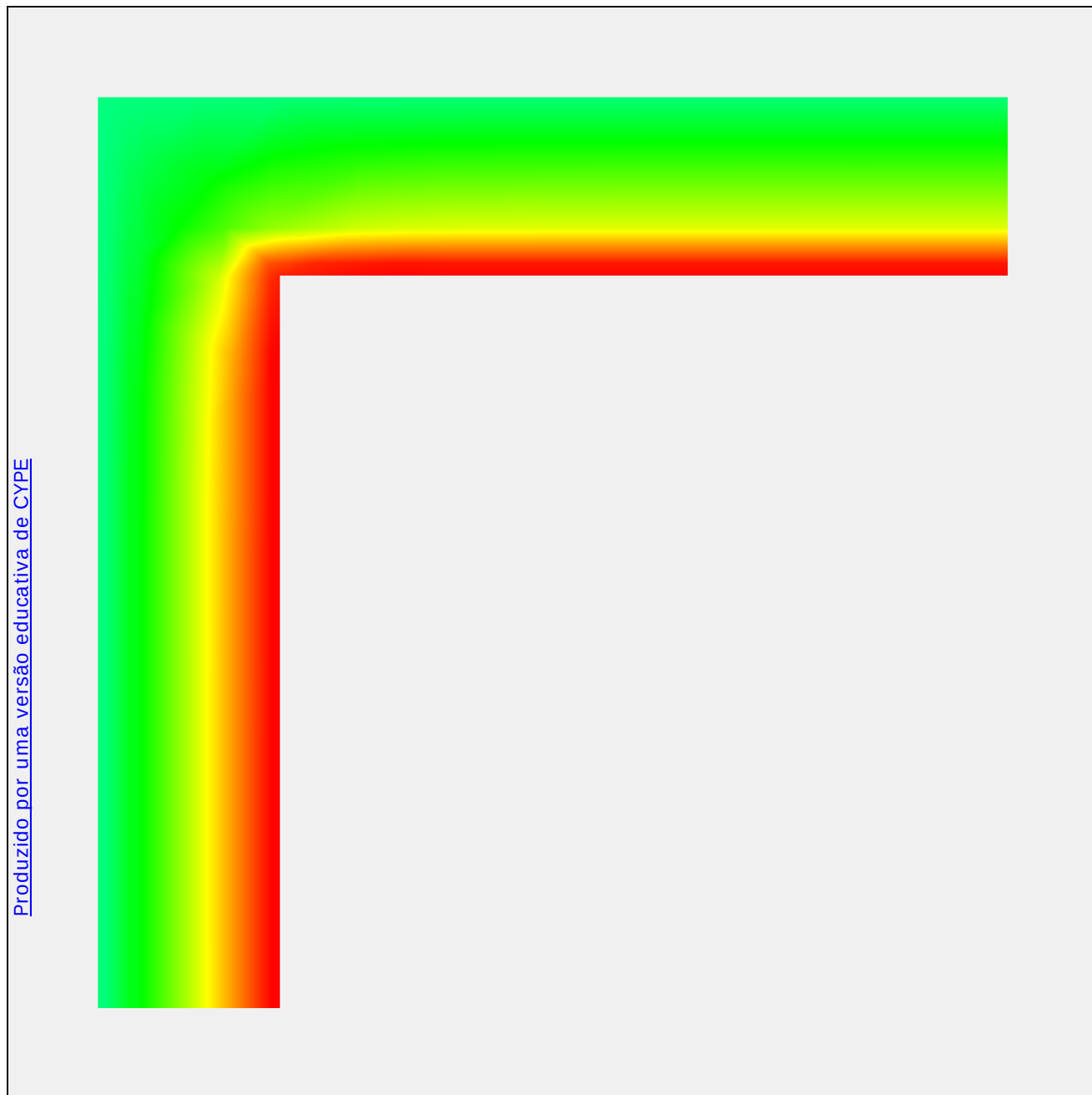
Tabela de materiais			
	Referência	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))	Espessuras utilizadas (cm)
	Poliestireno extrudido (XPS)	0.11	15.0
	Placa de gesso cartonado	0.24	1.2,1.5
	Poliestireno expandido (EPS) + LSF / Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.039	4.1
	Reboco com textura e pintura	0.5	1.0
	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.03	0.1
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	2.4
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.02	0.1
	Painéis de lamelas longas (OSB)	0.14	1.1
	Lã de rocha (MW) + LSF	0.04	1.0,15.0

Condições de contorno	
Temperatura exterior	0.00 °C
Temperatura interior	20.00 °C
Coeficiente de convecção exterior, fluxo vertical	25.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo ascendente	10.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo descendente	5.88 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo horizontal	7.69 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção exterior, fluxo horizontal	25.00 W/(m²·°C)

Contorno do modelo	
	Bordo analisado
	Bordo exterior

Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

3. TERMOGRAMAS



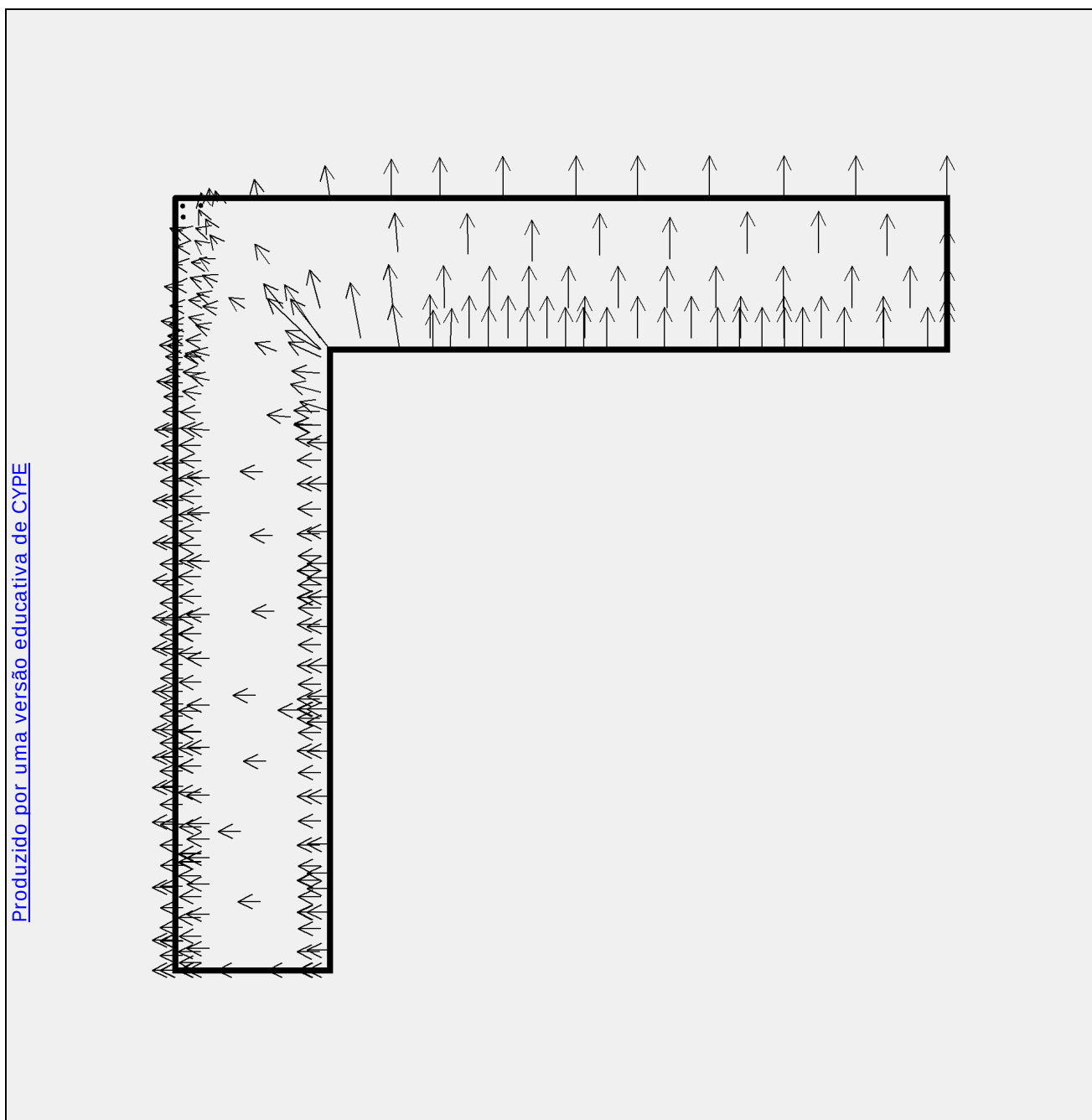
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

4. ISOTERMAS



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

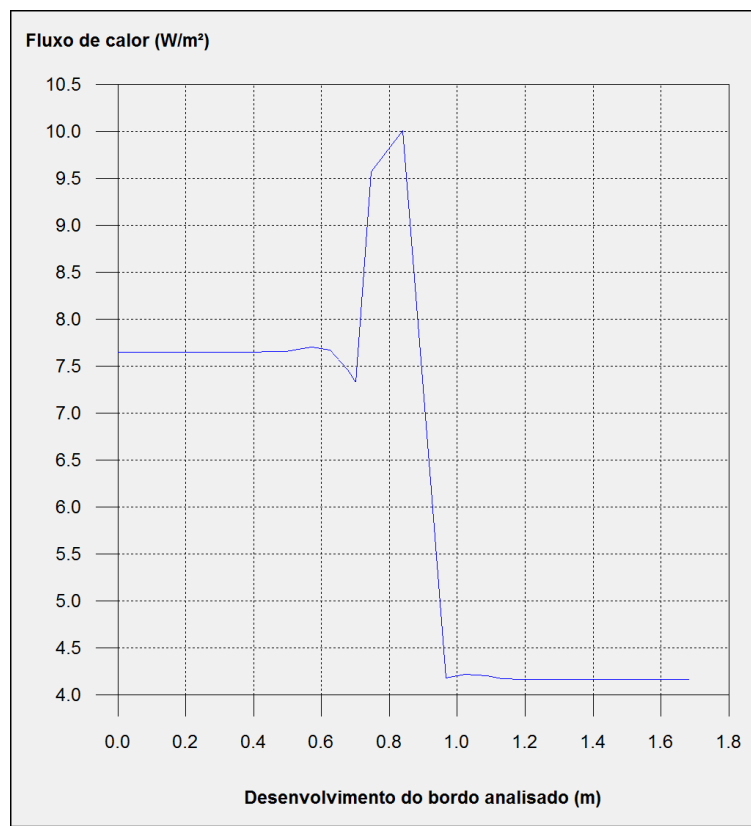
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR



[Produzido por uma versão educativa de CYPE](#)

Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO



CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

Fluxo de calor teórico	9.937 W/m
Fluxo de calor real	10.662 W/m
Salto térmico	20.00 °C
Coefficiente de transmissão térmica U	0.295 W/(m².°C)
Coefficiente de transmissão térmica calculado	0.036 W/(m.°C)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MODELO DE CÁLCULO GERADO.....	2
3. TERMOGRAMAS.....	4
4. ISOTERMAS.....	5
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR.....	6
6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO.....	7
7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR.....	7

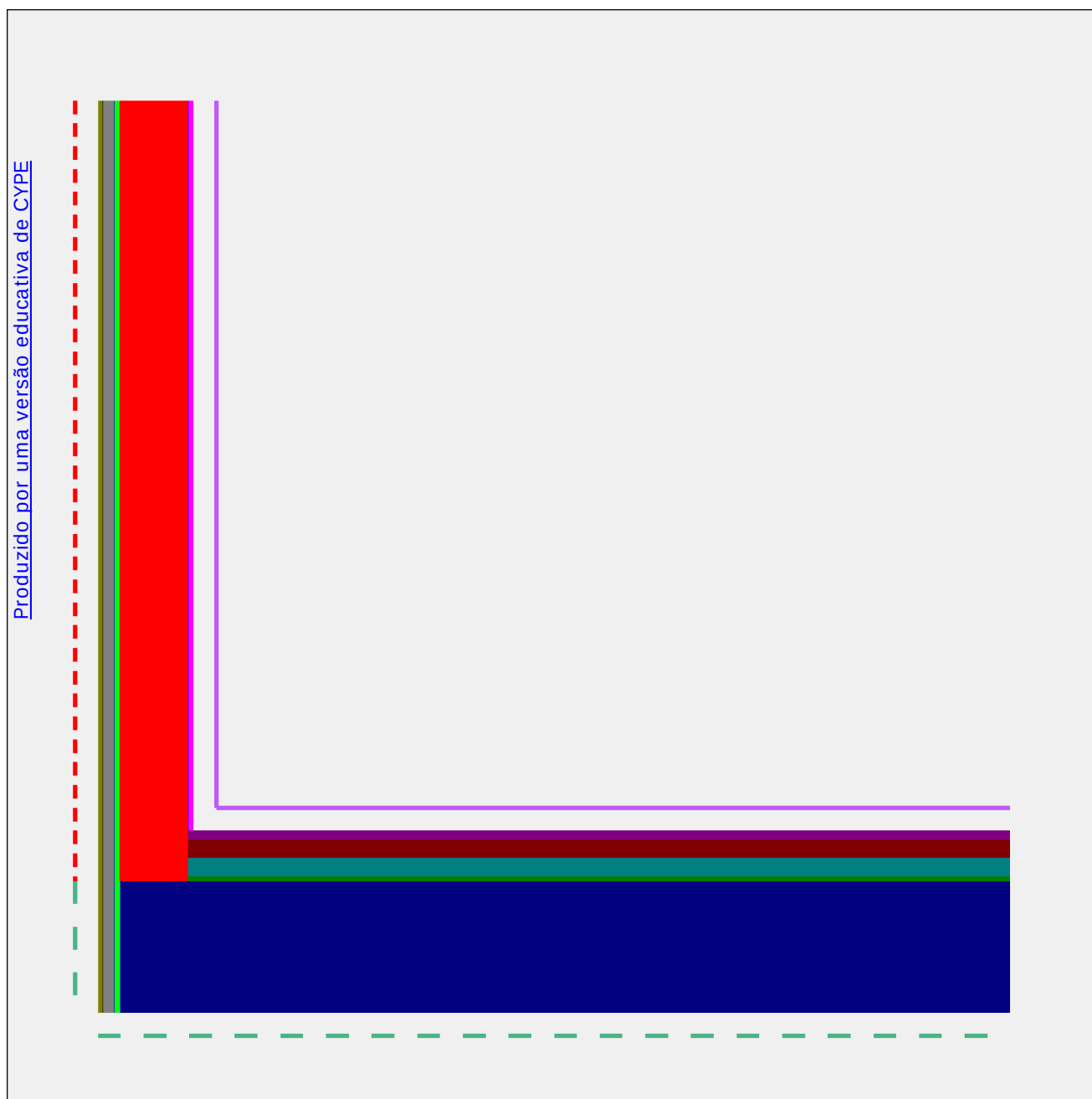
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares realiza-se um cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional para transferência de calor contemplado na norma EN ISO 10211.

O método dos elementos finitos aplicado à análise de pontes térmicas implica a geração de um modelo discreto através de nós e elementos (neste caso, triangulares), assim como a resolução do sistema de equações resultante, sobre o que foram aplicadas as correspondentes condições de contorno. Desta forma, obtém-se o campo de temperaturas, assim como as componentes do fluxo de calor sobre o modelo. A integração dos referidos fluxos de calor sobre os bordos do modelo, e a sua comparação com os fluxos de calor 'teóricos' correspondentes às transmitâncias superficiais nos referidos bordos, proporciona o valor da transmitância linear da ponte térmica.

2. MODELO DE CÁLCULO GERADO



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

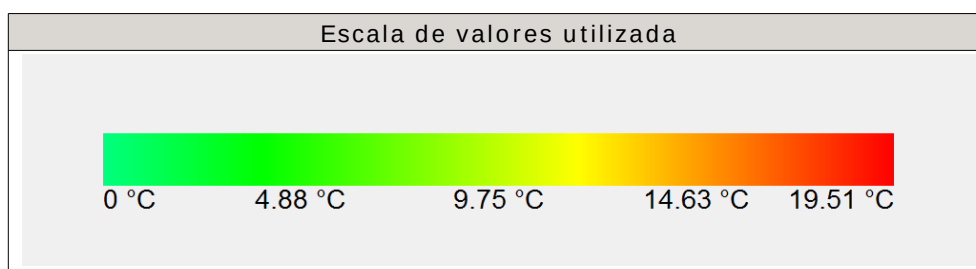
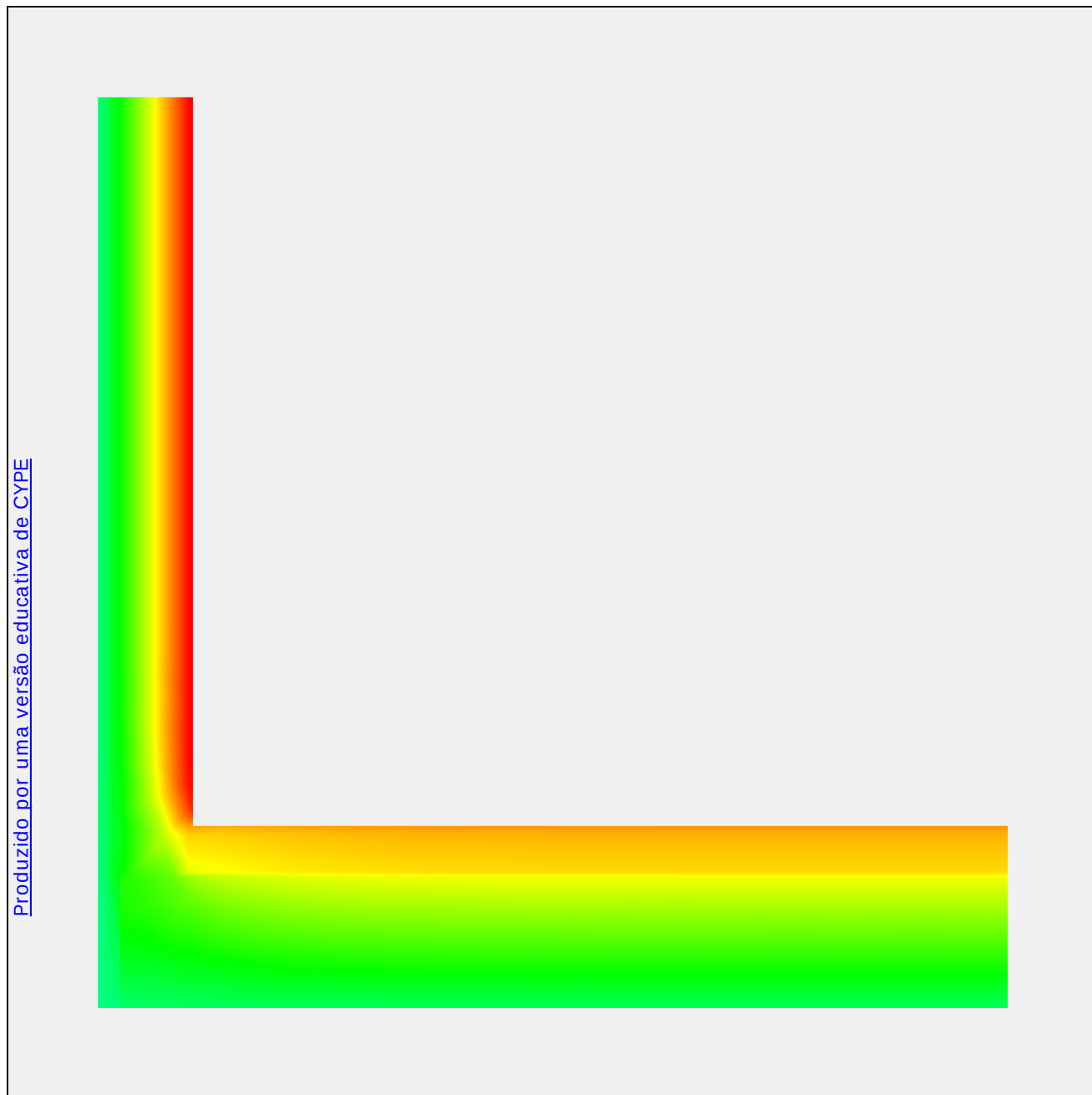
Tabela de materiais			
	Referência	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))	Espessuras utilizadas (cm)
	Piso de Fundação com Armadura	0.85	28.9
	Film de polietileno 150U / Malha Eletrosoldada	0.247	1.1
	Tubos de piso radiante	2	4.0
	Contra Piso	2	4.0
	Nivelador / Piso Terminado	0.667	2.0
	Reboco com textura e pintura	0.5	1.0
	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.03	0.1
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	2.4
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.02	0.1
	Painéis de lamelas longas (OSB)	0.14	1.1
	Não tem	0.001	0.1
	Lã de rocha (MW) + LSF	0.04	15.0
	Placa de gesso cartonado	0.24	1.2

Condições de contorno	
Temperatura exterior	0.00 °C
Temperatura interior	20.00 °C
Coeficiente de convecção exterior, fluxo vertical	25.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo ascendente	10.00 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo descendente	5.88 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção interior, fluxo horizontal	7.69 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção exterior, fluxo horizontal	25.00 W/(m²·°C)

Contorno do modelo	
	Bordo analisado
	Bordo exterior
	Bordo interior com caixa de ar fortemente ventilada

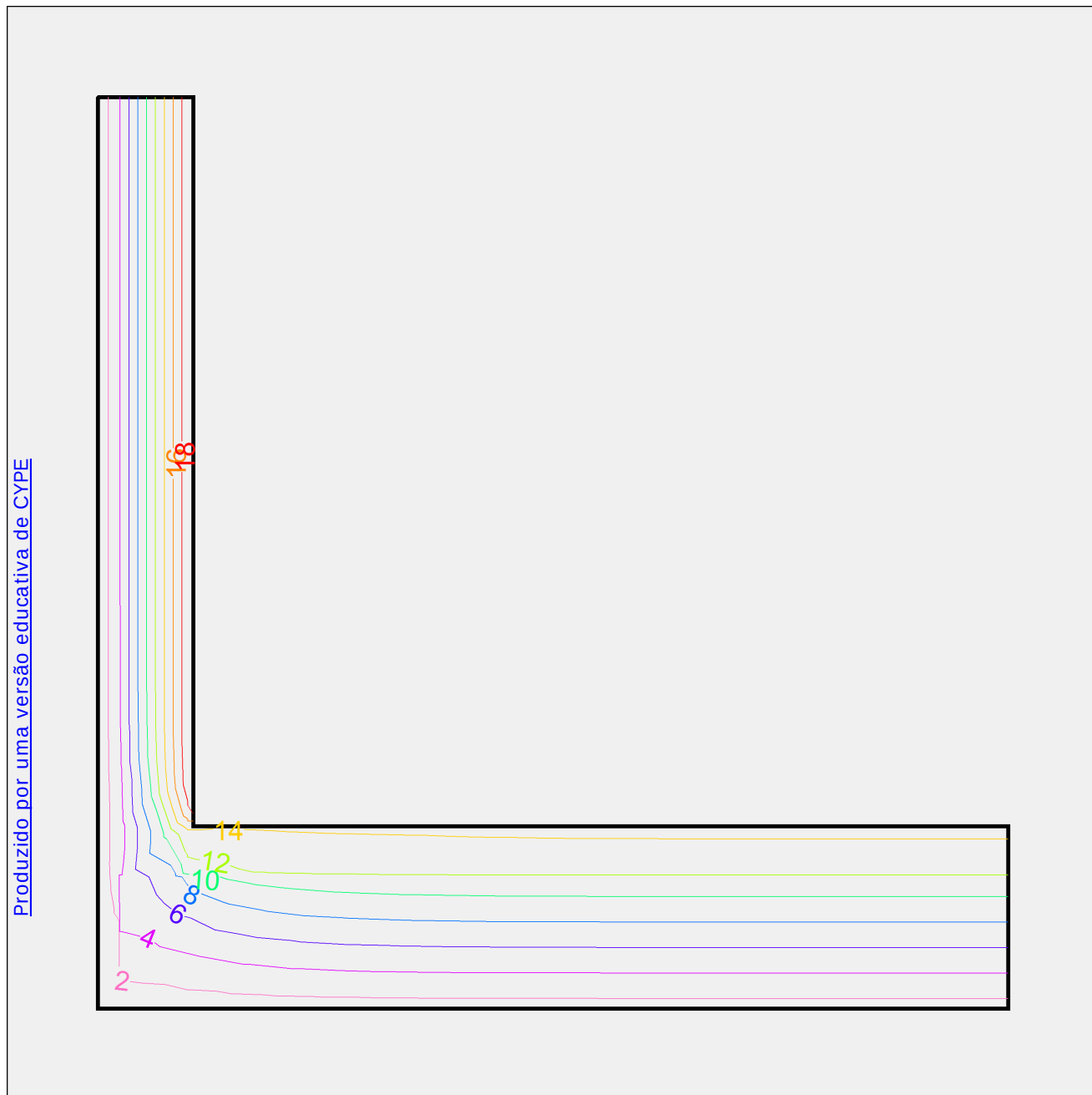
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

3. TERMOGRAMAS



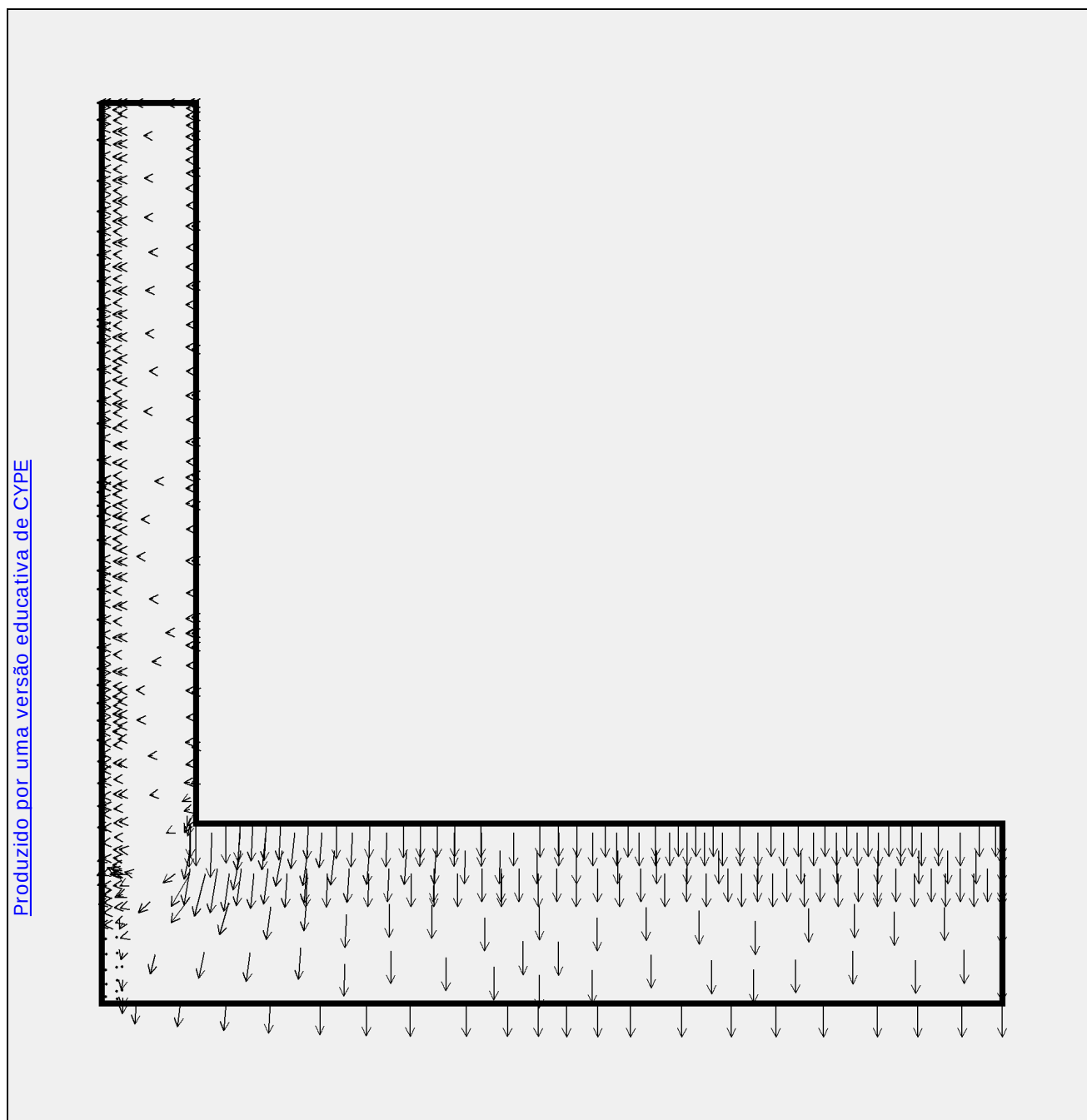
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

4. ISOTERMAS



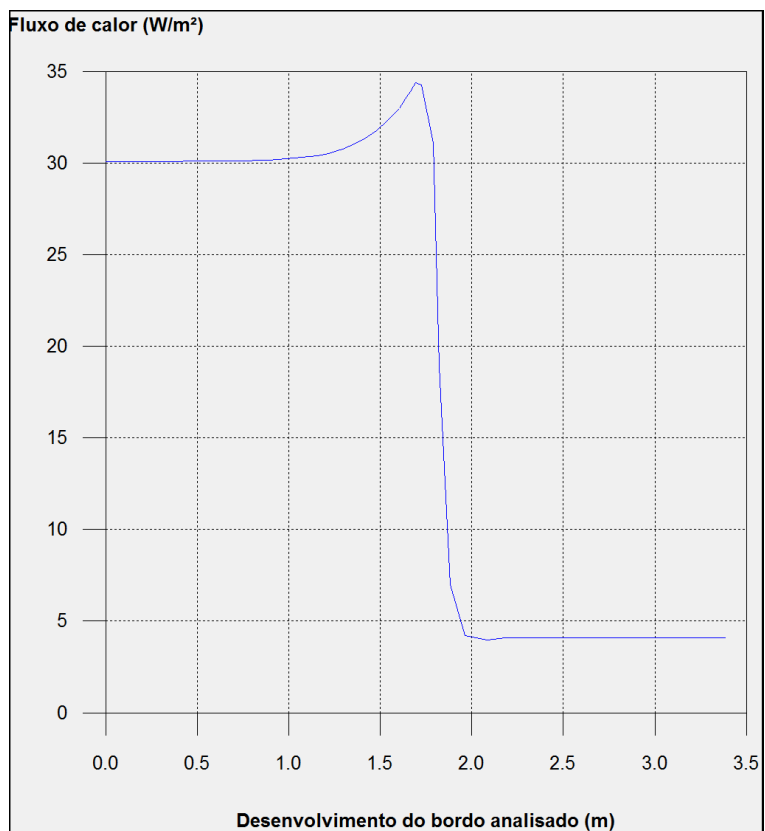
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO



7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

Fluxo de calor teórico	60.418 W/m
Fluxo de calor real	62.869 W/m
Salto térmico	20.00 °C
Coefficiente de transmissão térmica U	0.891 W/(m².°C)
Coefficiente de transmissão térmica calculado	0.123 W / (m.°C)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MODELO DE CÁLCULO GERADO.....	2
3. TERMOGRAMAS.....	4
4. ISOTERMAS.....	5
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR.....	6
6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO.....	7
7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR.....	7

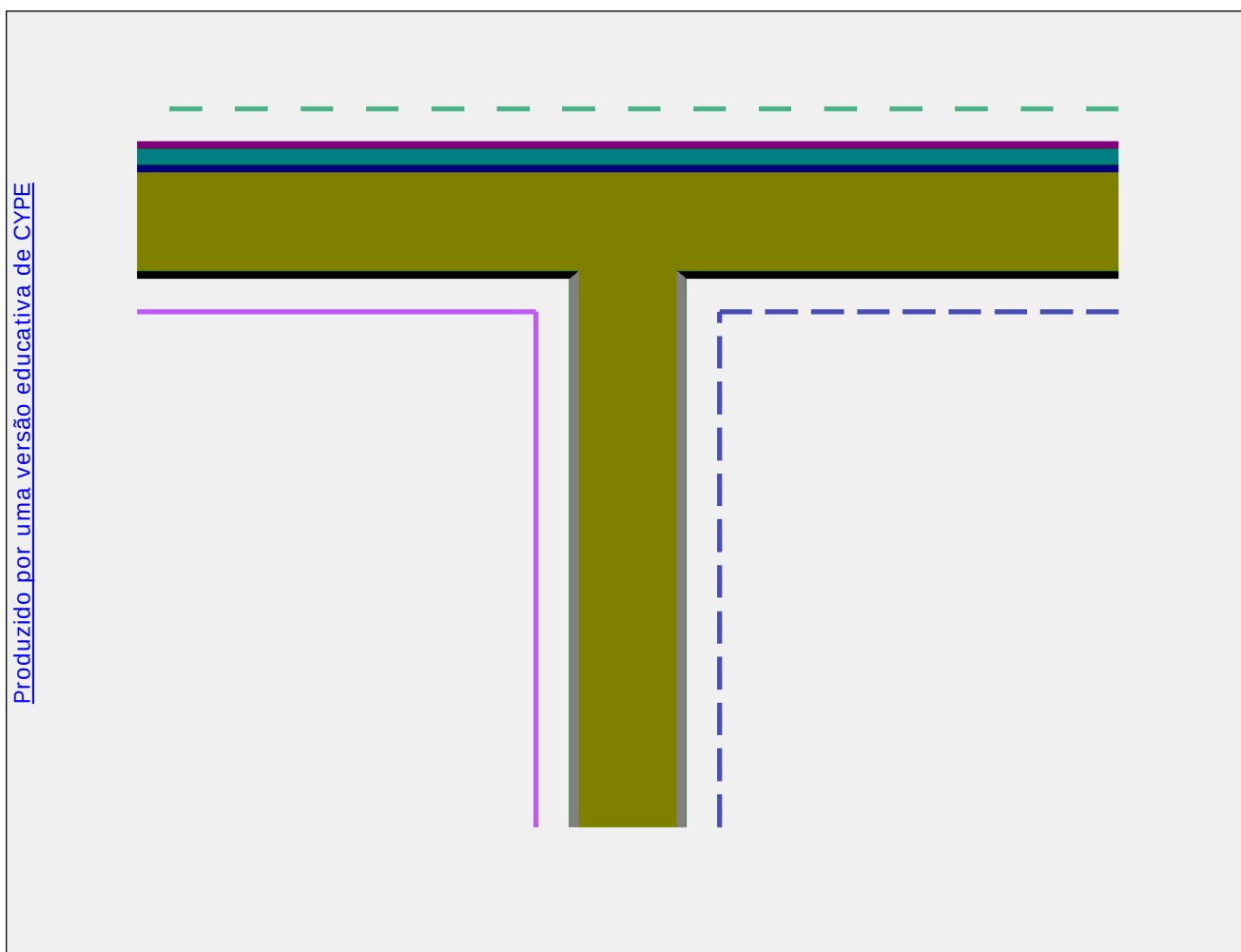
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares realiza-se um cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional para transferência de calor contemplado na norma EN ISO 10211.

O método dos elementos finitos aplicado à análise de pontes térmicas implica a geração de um modelo discreto através de nós e elementos (neste caso, triangulares), assim como a resolução do sistema de equações resultante, sobre o que foram aplicadas as correspondentes condições de contorno. Desta forma, obtém-se o campo de temperaturas, assim como as componentes do fluxo de calor sobre o modelo. A integração dos referidos fluxos de calor sobre os bordos do modelo, e a sua comparação com os fluxos de calor 'teóricos' correspondentes às transmitâncias superficiais nos referidos bordos, proporciona o valor da transmitância linear da ponte térmica.

2. MODELO DE CÁLCULO GERADO



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

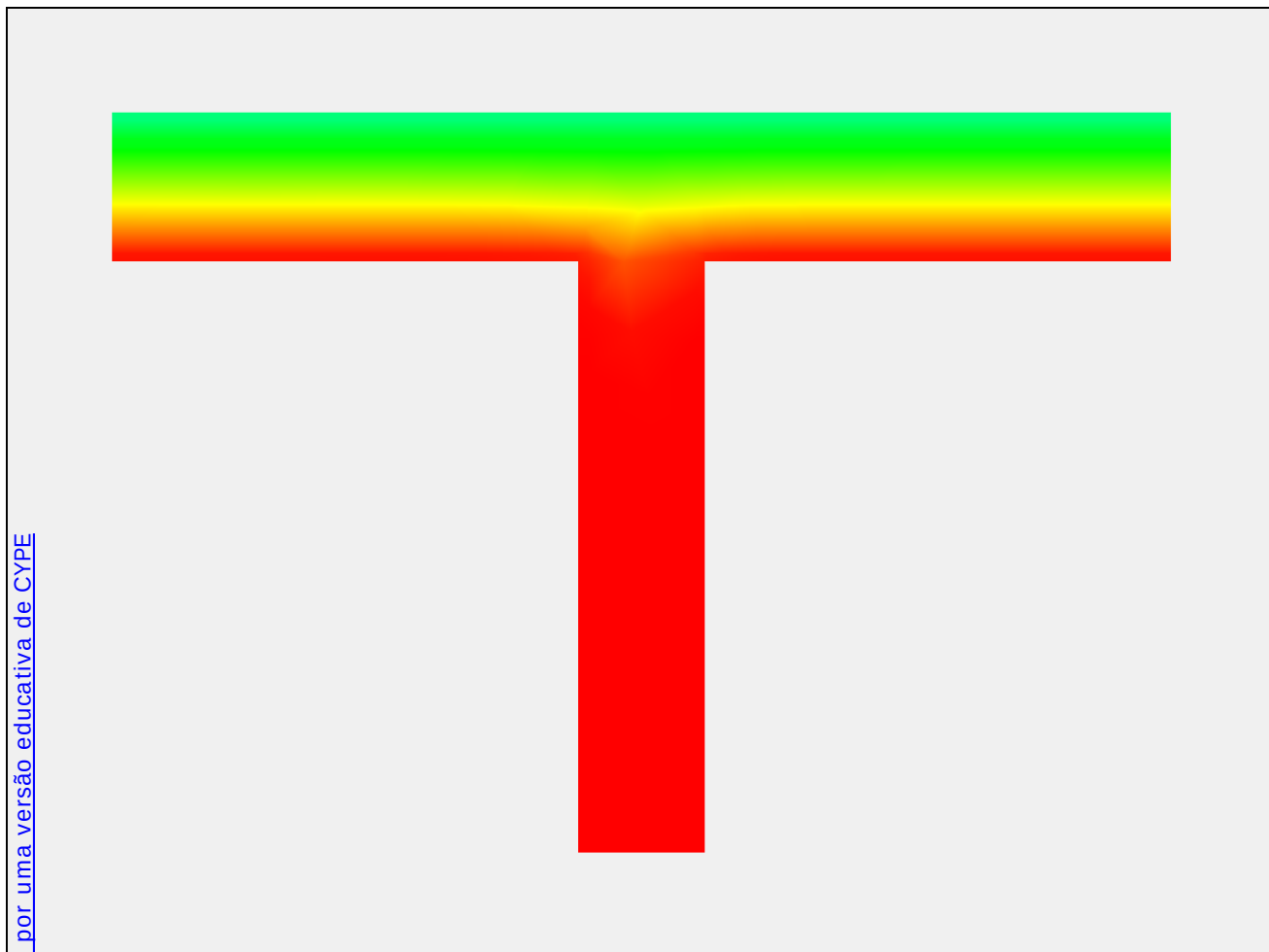
Tabela de materiais			
	Referência	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))	Espessuras utilizadas (cm)
	Painéis de lamelas longas (OSB)	0.14	1.1
	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.02	0.1
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	2.4
	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.03	0.1
	Reboco com textura e pintura	0.5	1.0
	Lã de rocha (MW) +LSF	0.04	15.0
	Placa de gesso cartonado	0.24	1.2
	Placas de yeso armado con fibras minerales 800 < d < 1000	0.23	1.4

Condições de contorno	
Temperatura exterior	0.00 °C
Temperatura interior	20.00 °C
Coeficiente de convecção interior, fluxo horizontal	7.69 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção exterior, fluxo horizontal	25.00 W/(m²·°C)

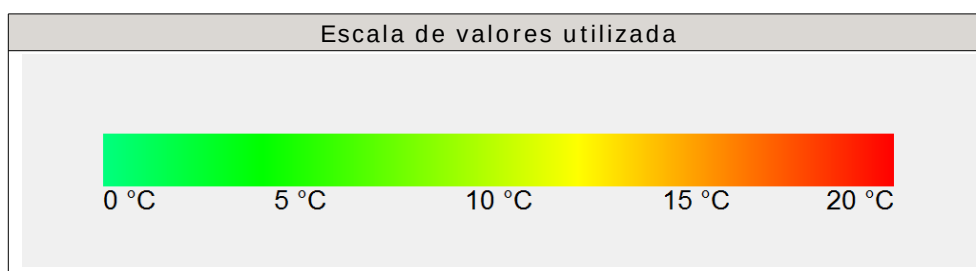
Contorno do modelo	
	Bordo analisado
	Bordo interior
	Bordo exterior

Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

3. TERMOGRAMAS

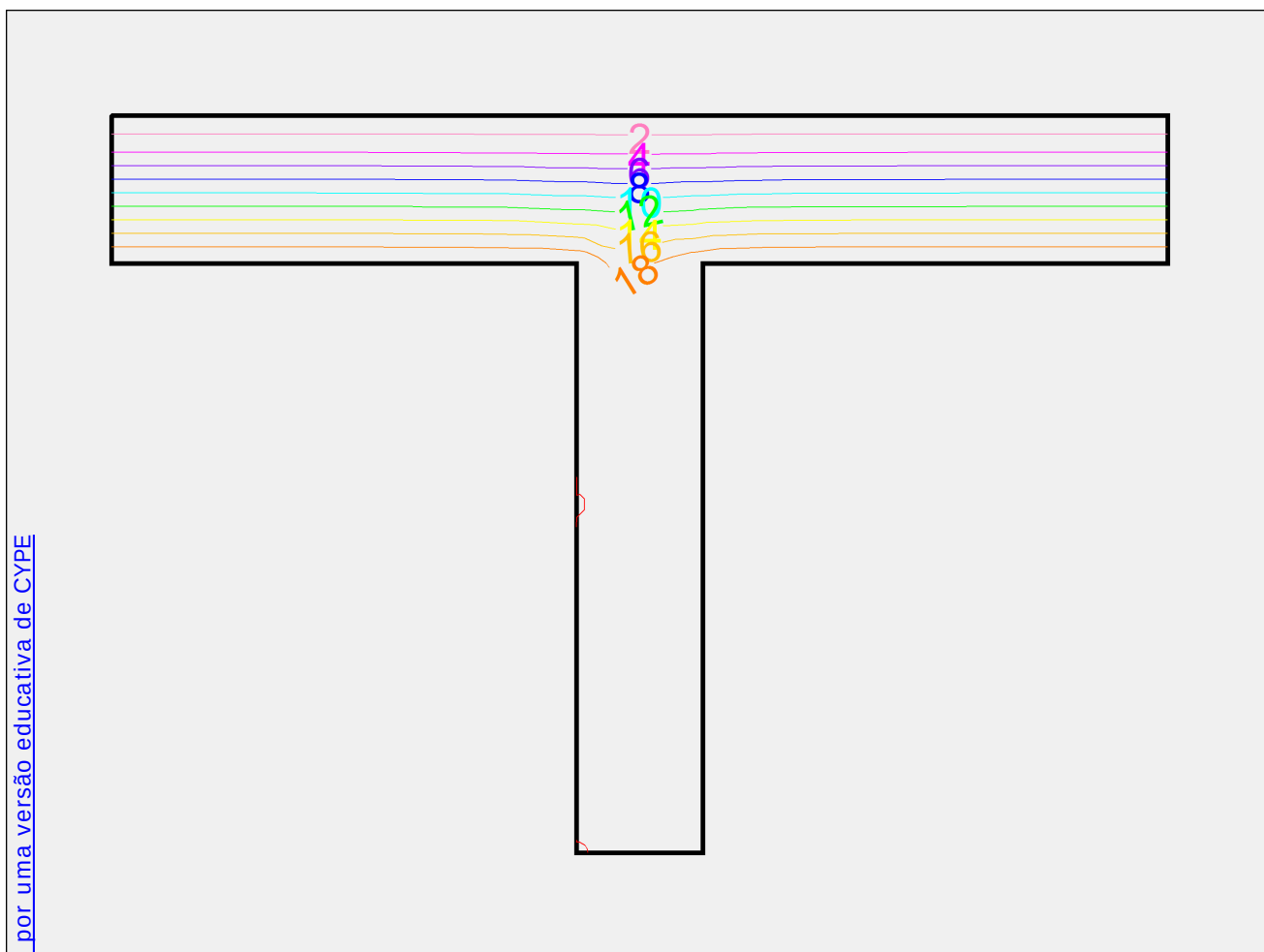


Produzido por uma versão educativa de CYPE



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

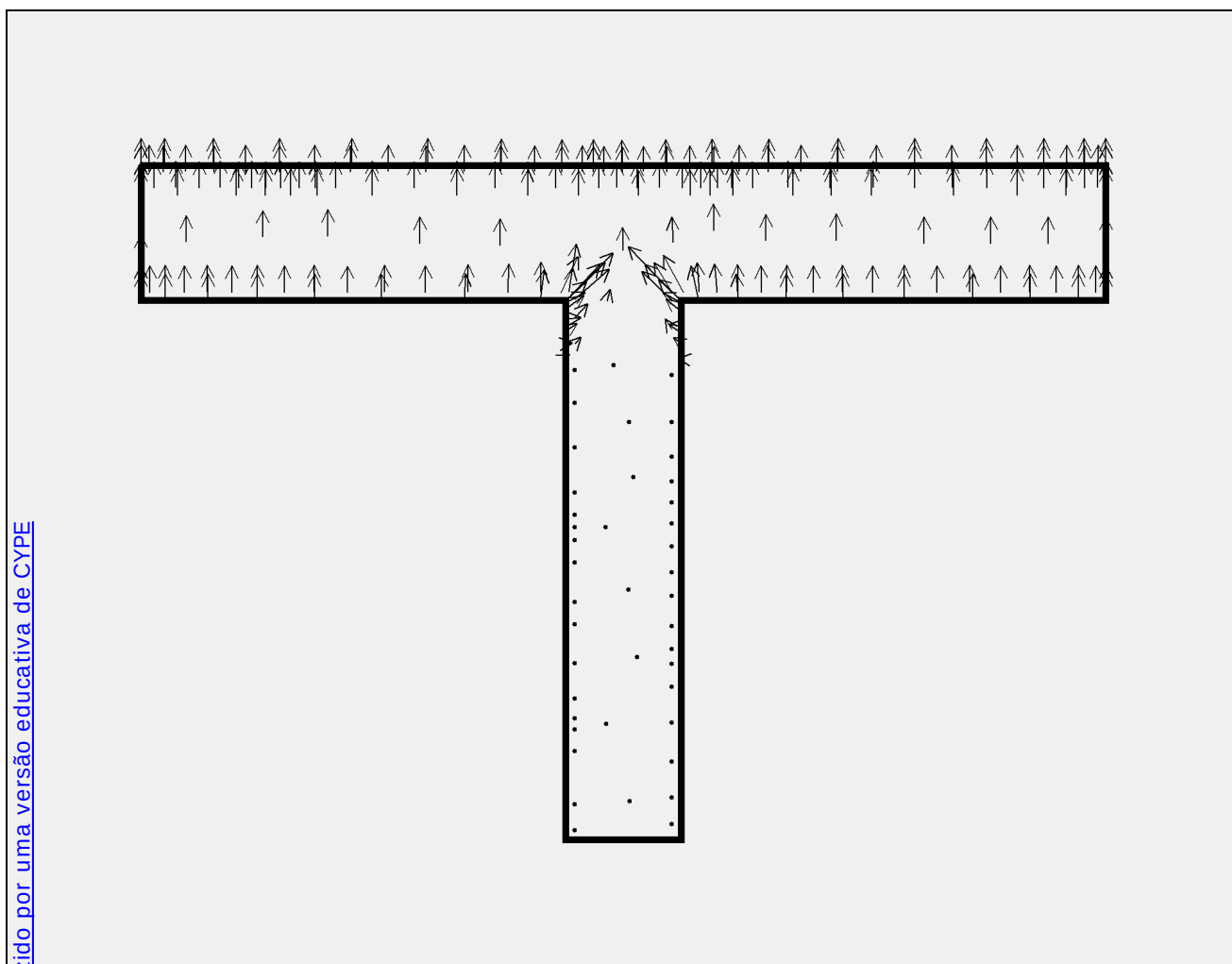
4. ISOTERMAS



Produzido por uma versão educativa de CYPE

Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

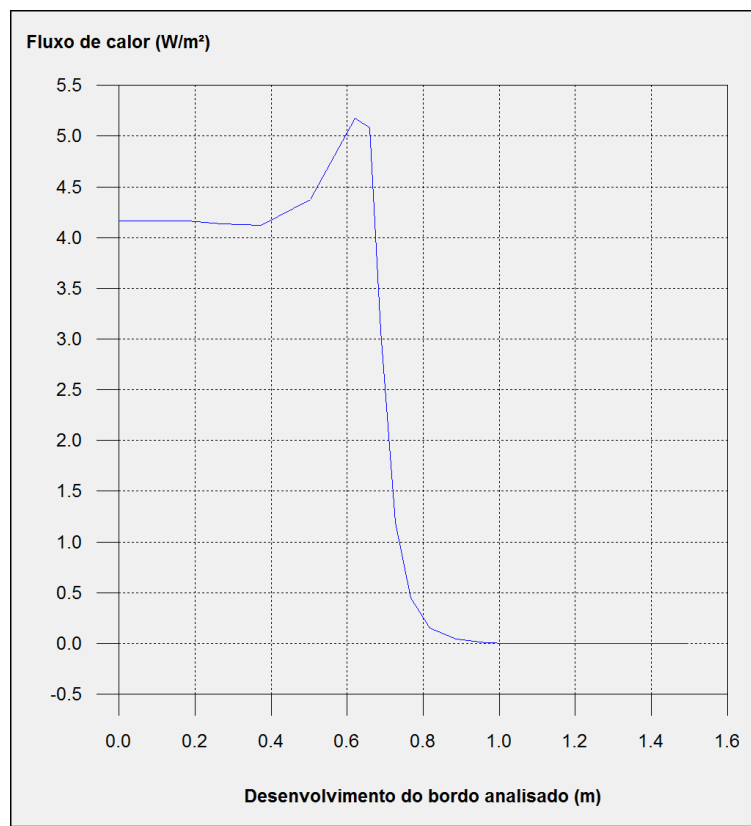
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR



Produzido por uma versão educativa de CYPE

Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO



CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

Fluxo de calor teórico	2.749 W/m
Fluxo de calor real	3.091 W/m
Salto térmico	20.00 °C
Coefficiente de transmissão térmica U	0.208 W/(m².°C)
Coefficiente de transmissão térmica calculado	0.017 W/(m.°C)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MODELO DE CÁLCULO GERADO.....	2
3. TERMOGRAMAS.....	4
4. ISOTERMAS.....	5
5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR.....	6
6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO.....	7
7. CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR.....	7

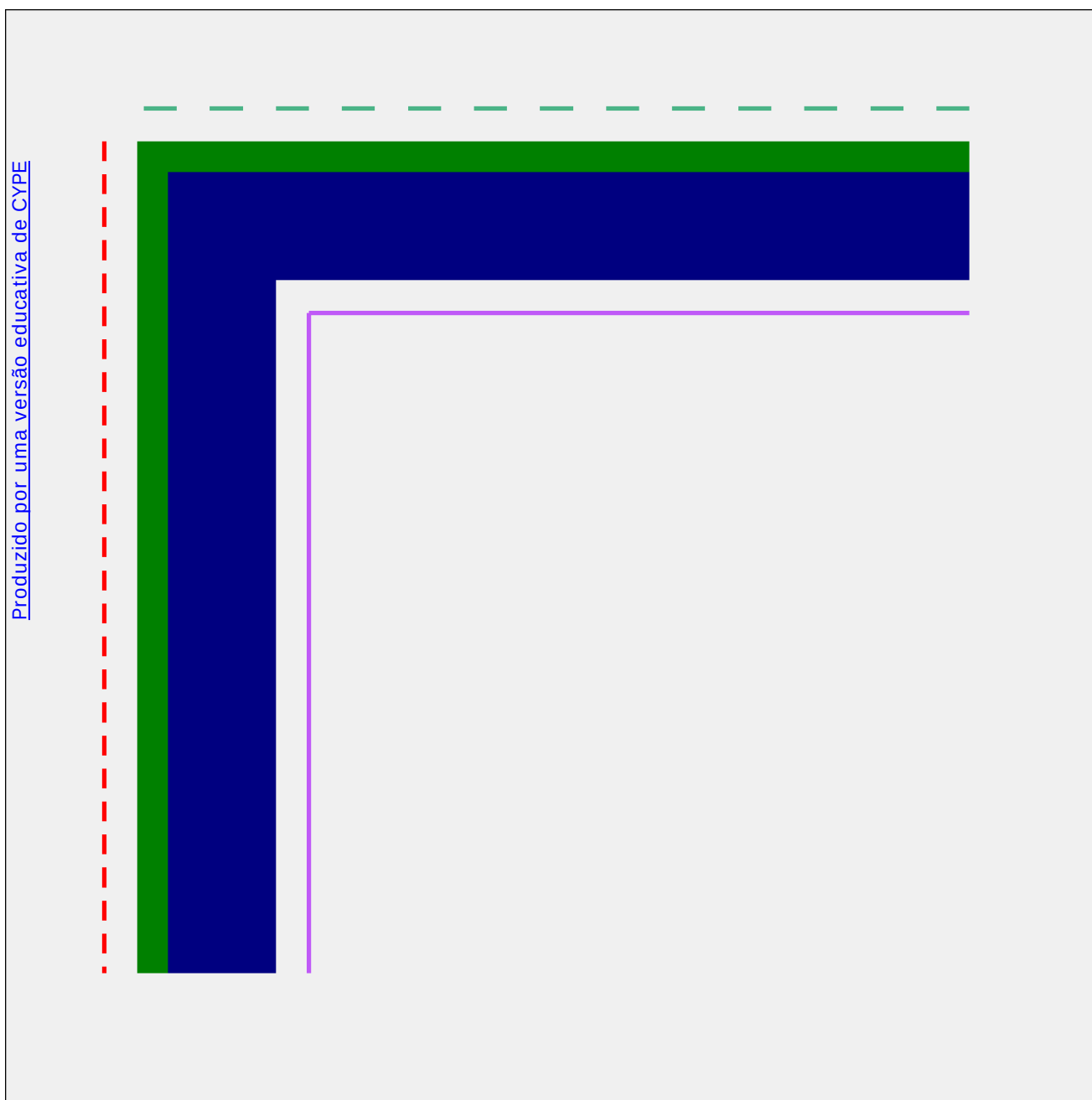
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da transmitância térmica resultante em pontes térmicas lineares realiza-se um cálculo numérico por elementos finitos baseado na análise bidimensional para transferência de calor contemplado na norma EN ISO 10211.

O método dos elementos finitos aplicado à análise de pontes térmicas implica a geração de um modelo discreto através de nós e elementos (neste caso, triangulares), assim como a resolução do sistema de equações resultante, sobre o que foram aplicadas as correspondentes condições de contorno. Desta forma, obtém-se o campo de temperaturas, assim como as componentes do fluxo de calor sobre o modelo. A integração dos referidos fluxos de calor sobre os bordos do modelo, e a sua comparação com os fluxos de calor 'teóricos' correspondentes às transmitâncias superficiais nos referidos bordos, proporciona o valor da transmitância linear da ponte térmica.

2. MODELO DE CÁLCULO GERADO



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

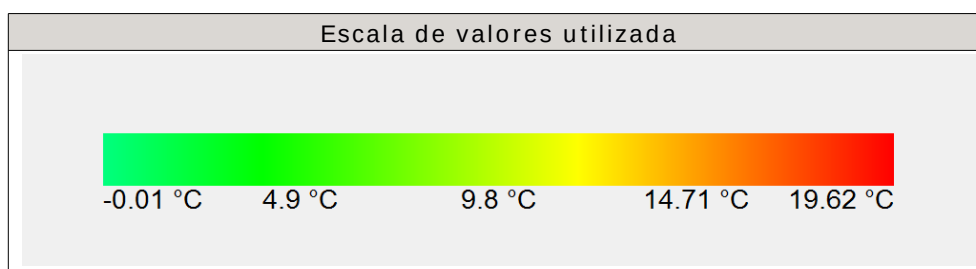
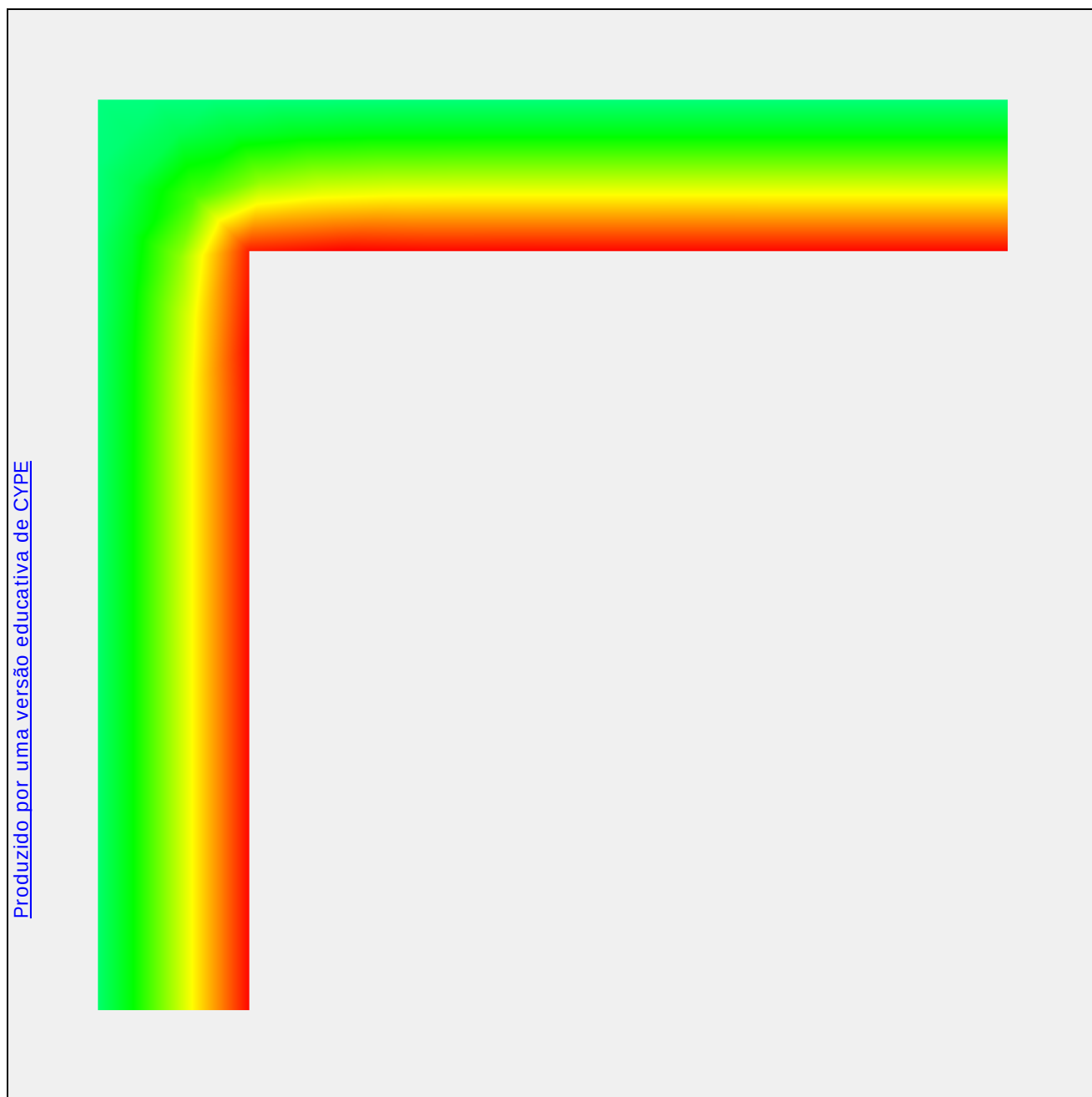
Tabela de materiais			
	Referência	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))	Espessuras utilizadas (cm)
	Lã de rocha (MW) +LSF / Membranas flexíveis impregnadas com betume / Placa de gesso cartonado	0.042	16.3
	Poliestireno expandido (EPS) / Poliamida com 25% de fibra de vidro / Reboco com textura e pintura / Painéis de lamelas longas (OSB) / Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.06	4.7

Condições de contorno	
Temperatura exterior	0.00 °C
Temperatura interior	20.00 °C
Coeficiente de convecção interior, fluxo horizontal	7.69 W/(m²·°C)
Coeficiente de convecção exterior, fluxo horizontal	25.00 W/(m²·°C)

Contorno do modelo	
	Bordo analisado
	Bordo exterior
	Bordo interior com caixa de ar fortemente ventilada

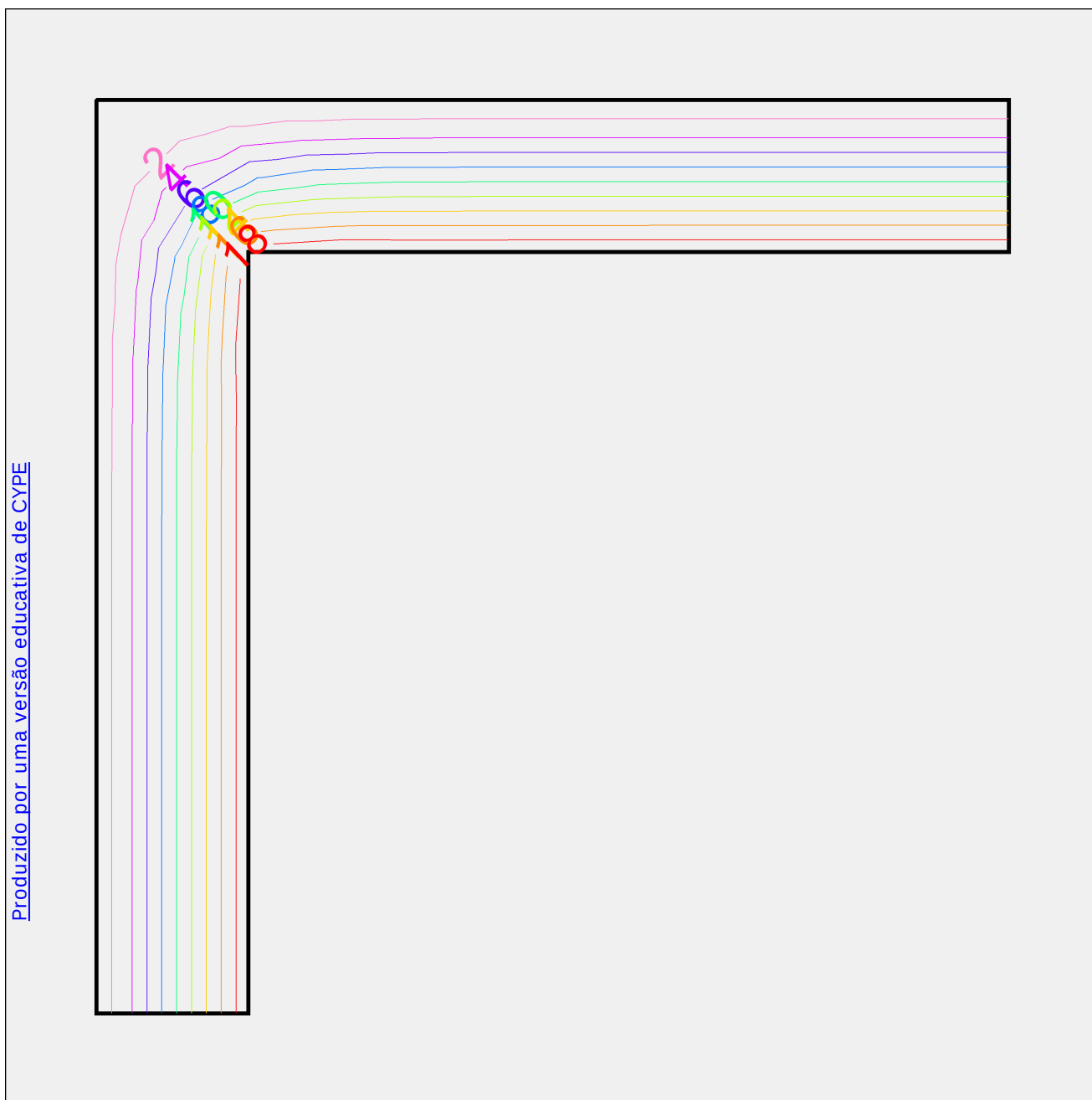
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

3. TERMOGRAMAS



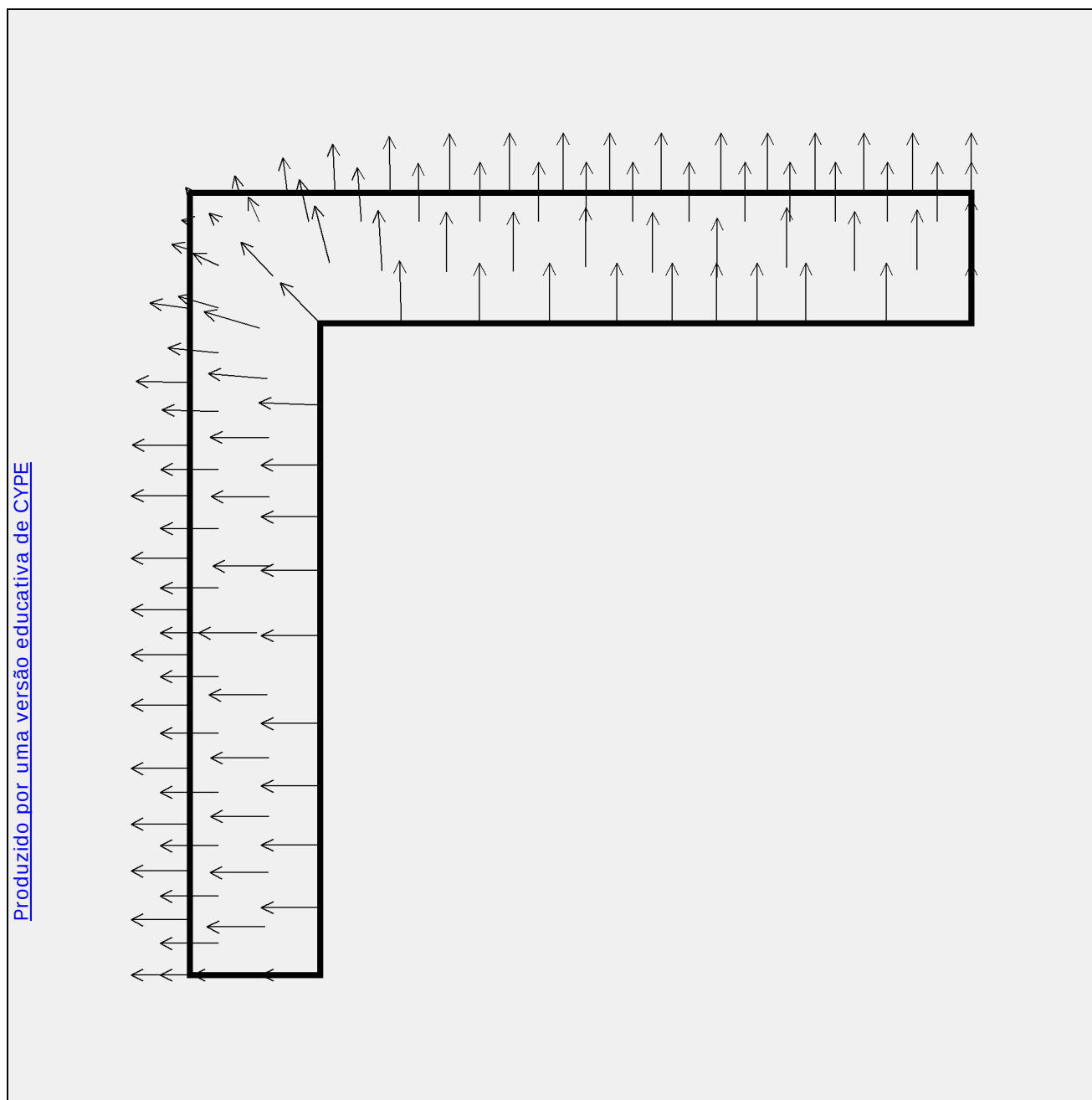
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

4. ISOTERMAS



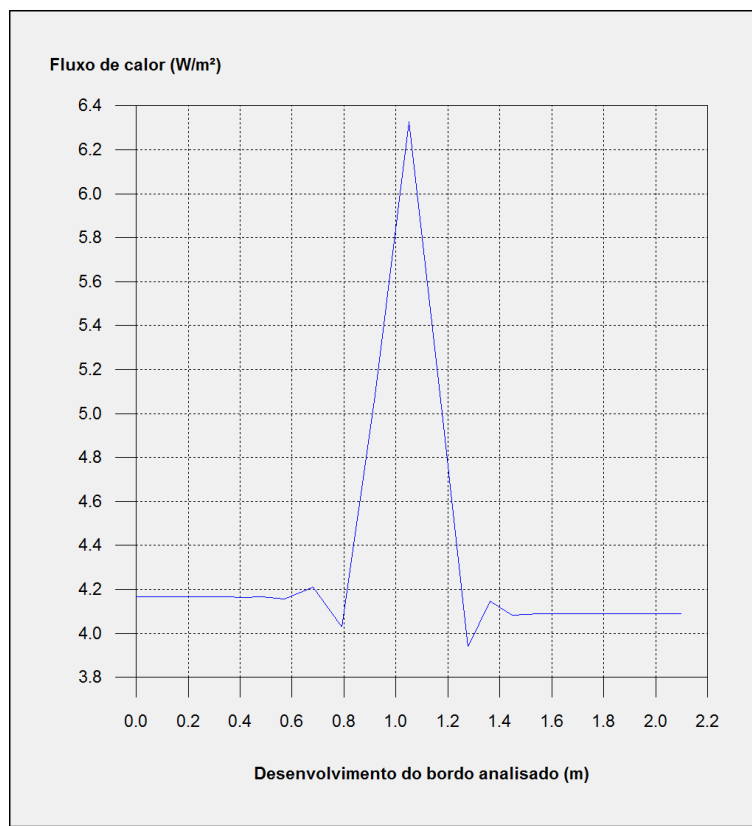
Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

5. DIRECÇÃO DO FLUXO DE CALOR



Análise da ponte térmica linear (EN ISO 10211)

6. FLUXO DE CALOR NO BORDO ANALISADO



CÁLCULO DA TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR

Fluxo de calor teórico	8.666 W/m
Fluxo de calor real	9.176 W/m
Salto térmico	20.00 °C
Coefficiente de transmissão térmica U	0.206 W/(m²·°C)
Coefficiente de transmissão térmica calculado	0.025 W/(m·°C)



Anexo III

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico																				1/2				
Sumário																								
Instalação em Alcoutim (Alcoutim)																								
4 coletores Padrão REH										Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)					Indicadores principais (sistema solar)									
» painel de 2.6 m² (inclinação 35° e azimute 0°)										Energia útil solicitada: 1,188 kWh					rendimento: 34%									
» depósito de 200 l, modelo exemplo tanque kit										- satisfeitas por origem solar 1,060 kWh					produtividade: 408 kWh/m²									
										- satisfeitas pelo apoio 128 kWh					perdas: 46%									
Local e clima																								
NUTS III: Algarve					Município: Alcoutim					Local: Alcoutim					elevação: 15 m					albedo: 20%				
obstruções do horizonte																								
azimute:		E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S				
altura angular:																								
azimute:		S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W				
altura angular:																								
Configuração do sistema solar																								
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 2.6 m² de coletores com inclinação 35° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 200 litros, apoio de montagem em série com controlo temporizado.																								
Circuito primário com 24 m de comprimento, sem permutador externo, tubagens de calibre 12 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 30 W, garantindo um caudal nominal de 46 l/m² por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante.																								
4 coletores Padrão REH.																								
Área de abertura 0.65 m², coeficientes de perdas térmicas a1 = 4.12 W/m²K e a2 = 0.014 W/m²K², rendimento óptico = 73%.																								
1 depósito de modelo exemplo tanque kit, com capacidade 200 litros, em posição vertical; coeficiente de perdas térmicas global = 3.0 W/K, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 95°C.																								
Apoio energético fornecido por sistema elétrico (eletricidade) com eficiência nominal 100%.																								
Água quente distribuída por tubagens de calibre 18 mm isoladas por poliuretano com espessura 20 mm, com 20 m entre depósito e pontos de consumo.																								
Necessidades de energia																								
Águas quentes sanitárias - padrão REH																								
edifício:										Residências					T1									
										nº fracções desta tipologia					1									
										nº ocupantes por fracção					2									
										consumo diário por ocupante (litros)					40									
temperaturas			jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez										
		abastecimento de água	16	16	17	17	19	21	22	22	21	19	17	16	°C									
		pretendida no consumo	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	°C									
energia diária			jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez										
		segunda-feira	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		terça-feira	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		quarta-feira	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		quinta-feira	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		sexta-feira	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		sábado	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
		domingo	3.5	3.5	3.4	3.4	3.2	3.1	2.9	2.9	3	3.2	3.4	3.5	kWh									
perfil de consumo			hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18									
		(período diurno)	15%	15%	10%	.	.	.	5%	5%	.	.	.	10%										
			hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6									
		(período nocturno)	15%	15%	10%	.	.	.	.	.	.	.	.	.										

Relatório de simulação de sistema solar térmico - continuação

2/2

Aproveitamento do recurso solar

radiação solar directa	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
horizontal (à superfície)	1.5	2.0	3.1	3.9	4.9	5.7	5.9	5.5	3.7	2.5	1.7	1.2	3.5 kWh/m².dia
incidente nos colectores	2.9	3.1	4.0	4.2	4.5	4.9	5.2	5.4	4.5	3.7	3.1	2.4	4.0 kWh/m².dia
absorvida pelos colectores	2.7	3.0	3.8	3.9	3.9	4.2	4.5	5.0	4.3	3.5	3.0	2.3	3.7 kWh/m².dia

radiação solar global	média	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
no topo da atmosfera	4.7	6.2	8.1	9.9	11.1	11.6	11.3	10.3	8.7	6.8	5.1	4.3	8.2 kWh/m².dia
na horizontal (à superfície)	2.5	3.4	4.9	6.0	7.0	7.8	7.9	7.2	5.6	3.9	2.7	2.1	5.1 kWh/m².dia
incidente nos colectores	4.1	4.8	6.0	6.4	6.7	7.0	7.2	7.3	6.5	5.3	4.4	3.5	5.8 kWh/m².dia
absorvida pelos colectores	3.5	4.1	5.1	5.4	5.4	5.6	5.8	6.2	5.6	4.6	3.9	3.1	4.9 kWh/m².dia

Desempenho energético

temperaturas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
ambiente	12	13	15	16	19	23	26	26	24	20	16	14	19 °C
abastecimento de água	16	16	17	17	19	21	22	22	21	19	17	16	19 °C
base do armazenamento	35	40	47	50	53	58	64	66	59	48	40	35	50 °C
topo do armazenamento	44	49	57	60	63	68	73	76	68	58	48	43	59 °C
pretendida no consumo	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54 °C

massas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
pretendida no consumo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80 litros/dia
extraída do armazenamento	77	76	70	65	63	57	50	48	56	68	76	79	65 litros/dia
nota: adicionada	3	4	10	15	17	23	30	32	24	12	4	1	15 litros/dia

balanços de energia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
- sistema solar													
nota: radiação solar na horizontal	198	246	393	469	568	612	637	581	433	313	214	171	4,835 kWh
energia primária (radiação solar incidente)	327	347	482	496	538	546	582	591	508	428	346	284	5,475 kWh
energia solar captada	141	143	194	197	204	208	223	230	204	180	150	127	2,199 kWh
perdas térmicas no circuito primário	4	4	6	7	7	8	9	9	7	6	4	3	74 kWh
perdas térmicas no armazenamento	46	51	74	79	88	96	112	117	97	77	54	44	936 kWh
consumos eléctricos parasíticos	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	81 kWh
energia final (calor de origem solar)	121	123	166	163	175	179	192	198	176	155	129	109	1,888 kWh
- sistema de apoio													
energia primária (eletricidade via SEP)	77	43	21	20	12	3	0	0	1	17	49	79	320 kWh
energia final (calor)	31	17	8	8	5	1	0	0	0	7	20	31	128 kWh
- circuito de distribuição													
perdas térmicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 kWh
- fornecimento de água quente													
necessidades (consumo de energia útil)	110	98	106	101	101	92	91	91	90	99	101	108	1,188 kWh
energia de origem solar (útil)	79	81	98	93	96	91	91	91	90	92	82	77	1,060 kWh
energia com origem no apoio (útil)	31	17	8	8	5	1	0	0	0	7	20	31	128 kWh

Desempenho global do sistema

fracção solar	89% em termos de energia útil	(*)
produtividade	408 kWh/m² de colector	
i.e.	28% da produtividade limite dos colectores, 1479 kWh/m²	
rendimento - definição física	34% em relação à energia solar no plano dos colectores	
rendimento - definição estatística	22% em relação à energia solar na horizontal	
perdas térmicas e consumos parasíticos	50% da energia solar captada	

(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante a semana e/ou ano.



ANEXO IV – PANORAMA GERAL SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA EUROPA – By Dean Delmo

Índice

1.	Eficiência energética unifamiliar na União Europeia.....	2
2.	Marcos históricos na União Europeia.....	2
3.	Semelhança entre a norma Portuguesa e Espanhola sobre eficiência energética	5
4.	Portugal: Metodologia de eficiência energética nas edificações	6
4.1.	Zoneamento Climático - REH e DB-HE	8
4.2.	Valores de Cálculos	9
4.3.	Energia para aquecimento, de Referência (Ni) e Real (Nic)	9
4.4.	Energia para arrefecimento, de Referência (Nv) e Real (Nvc)	10
4.5.	Energia Primária, Referência (Nt) e Real (Ntc).....	11
5.	Espanha: Metodologia de eficiência energética nas edificações	13
5.1.	Determinação do cenário de comparação	14
5.2.	Demanda de energia para aquecimento e resfriamento	14
5.3.	Zonas Climáticas.....	15
5.4.	Consumo de energia primária e emissões de CO ₂	16
5.5.	Cálculo dos indicadores de eficiência energética do edifício	17
6.	Elementos da envolvente envidraçada.....	18
6.1.	Cálculos para Portugal	18
6.2.	Cálculos para Espanha	19
7.	Sistemas técnicos.....	19
7.1.	Caldeiras - Requisitos de eficiência.....	19
7.2.	Bombas de Calor para A.Q.S. - Requisitos de eficiência	20
8.	Indicadores de eficiência energética.....	20

1. Eficiência energética unifamiliar na União Europeia

Contextualizando o cenário de avanços no continente europeu dos protocolos de eficiências energética das edificações no ano de 2020, descrevemos os principais acontecimentos que evoluíram para as exigências de demandas energéticas nas edificações existentes, com suas diretrizes e/ou normativas principais, detalhando, em seguida, aquelas que se destacam em cada país: Espanha e Portugal.

Como são vastas as informações e acontecimentos sobre o assunto, iremos evidenciar os marcos que realizaram grandes mudanças no método adotado de eficiência energética das edificações em relação as habitações unifamiliares, pois os mesmos possuem metodologias e processos diferentes para habitações multifamiliares, edificações de serviços ou mistas.

2. Marcos históricos na União Europeia

A percepção da interferência das ações do ser humano no planeta vem sendo sentida com o decorrer do tempo. Um marco forte de agressão ao ecossistema foi creditado à Revolução Industrial (1760-1840), vindo a exigir medidas para amenizar o processo industrial em épocas diferentes, por diferentes organizações e com diferentes modelos de intervenção. Nosso trabalho será descrever de forma cronológica, o mais especificamente possível, as ações direcionadas para eficiências energéticas das edificações na Europa.

Especificamente sobre a limitação das emissões de dióxido de carbono através da melhoria da eficiência energética [1], temos uma lista de ações que os Estados Membros devem adotar como medidas de melhoria da eficiência energética dos edifícios e, conseqüentemente, reduzir as emissões de gases com efeito estufa.

Entre essas ações, está a Diretiva 2002/91/EC (DEEE, 2003), que entrou em vigor em 4 de janeiro de 2003, aplicada pelos Estados Membros da União Europeia, com o prazo final de implantação obrigatoriamente para 4 de janeiro de 2006. Foi inspirada no Protocolo de Kioto, exigindo que a União Europeia reduza as emissões de CO₂ em 8% (percentual encontrado em 2010), para 5,2%, abaixo dos níveis de 1990.

Logo após foi aprovado o procedimento básico para a Certificação de Eficiência Energética de Novas Edificações [2], estabelecendo que o certificado de eficiência energética conterá, entre outras questões, a classificação energética do edifício expressa através de uma etiqueta. Por meio dessa etiqueta, as edificações serão classificadas energeticamente em uma escala de 7 letras, que vai da letra A (edificação mais eficiente) à letra G (edificação menos eficiente).

Os vinte e sete Chefes de Estado e de Governo da E.U., no Conselho Europeu de Primavera, reuniram-se em Bruxelas, para analisar a proposta de "Estratégia UE 2020", apresentada pela

Comissão Europeia. Desse encontro surgiu o documento que propõe um novo modelo de crescimento econômico com medidas para consolidar a recuperação da União Europeia, com o objetivo de melhorar a competitividade econômica no mercado global e evitar novas crises, cujas metas principais são:

- Reduzir as emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) em pelo menos 20% antes do final de 2020.
- Reduzir as emissões da U.E. em pelo menos 80% antes do final de 2050.

As definições de requisitos e avaliações de desempenho energético dos edifícios foram baseadas nos seguintes pilares:

- Comportamento térmico e eficiência dos sistemas nos edifícios de habitação, aos quais acrescem, no caso dos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos [3].

Para cada um destes pilares são, ainda, definidos princípios gerais, concretizados em requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes. Esse mesmo documento implementa os processos de:

- Metodologia de cálculo
- Requerimentos mínimos
- Planos nacionais para aumentar o número de edifícios com consumo de energia quase zero - nZeb.
- Certificação energética de edifícios
- Inspeção regular do aquecimento e ar condicionado.
- Sistemas de controle independentes de certificados de eficiência energética e relatórios de inspeção

No Anexo I - Quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético de dois edifícios - da Diretiva 2010/31/UE, inclui os itens:

- a) Características térmicas reais do edifício, e divisórias internas:
 - i. Capacidade térmica,
 - ii. Isolamento,
 - iii. Aquecimento passivo,
 - iv. Arrefecimento passivo, e
 - v. Pontes térmicas;
- b) Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respectivas características de isolamento;

- c) Instalações de ar condicionado;
- d) Ventilação natural e mecânica, que pode incluir a estanqueidade ao ar do envolvente;
- e) Instalação fixa de iluminação (em especial no sector não residencial);
- f) Concepção, posicionamento e orientação dos edifícios, incluindo as condições climáticas exteriores;
- g) Sistemas solares passivos e proteções solares;
- h) Condições climáticas interiores, incluindo as de projeto;
- i) Cargas internas.

Nos cálculos, temos a influência positiva dos seguintes aspectos:

- a) Condições locais de exposição solar, sistemas solares ativos e outros sistemas de aquecimento e produção de eletricidade baseados em energia proveniente de fontes renováveis;
- b) Eletricidade produzida por cogeração;
- c) Redes urbanas ou coletivas de aquecimento e arrefecimento;
- d) Iluminação natural.

Para efeitos de cálculo, os edifícios devem ser devidamente classificados nas seguintes categorias:

- a) Habitações unifamiliares de diversos tipos;
- b) Edifícios de apartamentos;
- c) Edifícios de escritórios;
- d) Estabelecimentos de ensino;
- e) Hospitais;
- f) Hotéis e restaurantes;
- g) Instalações desportivas;
- h) Edifícios destinados a serviços de comércio grossista e retalhista;
- i) Outros tipos de edifícios que consomem energia.

As medidas tomadas para reduzir o consumo de energia na União Europeia são, juntamente com a maior utilização de energia renováveis, para atender ao Protocolo de Kioto e o cumprimento do triplo objetivo até 2020, que consiste em:

- Redução de 20% nas emissões totais de gases de efeito estufa.
- Aumento de 20% na eficiência energética
- 20%, do consumo total de energia, de fontes renováveis

Sobre a adoção de metodologia de cálculo da eficiência energética de edifícios, temos que a metodologia será aplicada em escala nacional ou regional, referente ao consumo de energia final da quantidade de energia distribuída ou vendida a consumidores finais durante o período amostral de cinco anos, sem ajustes relativos aos graus-dias, alterações estruturais ou alterações da produção.

Aplicados para seguintes instalações, referente ao consumo de energia final, temos os requisitos:

- a) Instalações de aquecimento;
- b) Instalações de água quente;
- c) Instalações de ar condicionado;
- d) Grandes instalações de ventilação.

Também foram adotados os certificados de eficiência energética com os critérios de expedição e exposição, pelos Estados Membro:

- a) Quando edifícios ou unidades destes são construídos, vendidos ou alugados: O certificado de eficiência energética ou uma cópia dele, é dada ao comprador ou ao novo inquilino.
- b) Quando uma área útil total de mais de 500m², é regularmente frequentado pelo público, o certificado de eficiência energética é exibido em um local proeminente e bem visível para o público.

O nosso estudo é específico para Portugal e Espanha, no âmbito das vivendas novas e unifamiliares pois, as normativas, em ambos os países, possuem procedimentos diferentes para avaliação energética de vivendas novas e antigas, como para edificações comerciais. Devido a esses aspectos, abordamos na pesquisa os procedimentos específicos para esse enquadramento, não sendo mencionados as demais documentações, referentes a cálculos ou normas.

3. Semelhança entre a norma Portuguesa e Espanhola sobre eficiência energética

O mais similar na metodologia de cálculo entre a norma Portuguesa e a Espanhola, é o desenvolvimento de um procedimento de certificação, que possui a tomada de decisões em três níveis [7]:

1. O indicador de energia usado para comparar edifícios.
2. O grau de semelhança, comparando a um edifício de comparação.
3. A escala de avaliação que indica os termos em que os edifícios são comparados.

E os indicadores energéticos:

- Emissões anuais de CO₂, expressas em kg/m² de superfície útil do edifício.
- Energia primária anual, em kWh/m² de superfície útil do edifício.

Esses dois indicadores são obtidos a partir da energia consumida pelo edifício para satisfazer as necessidades associadas às condições normais, tanto climáticas como de funcionamento e de ocupação.

Os indicadores energéticos complementares incluem:

- Repartição das emissões de CO₂ dos principais serviços do edifício.
- Repartição do consumo de energia primária para os principais serviços do edifício.
- Energia exigida pelo edifício para cada um dos seus principais serviços.

Os indicadores complementares permitem explicar as razões do bom ou mau comportamento do edifício e, portanto, fornecem informações úteis sobre os aspectos a se considerar, ao propor medidas para melhorias desse comportamento [9].

Para os novos edifícios, os indicadores energéticos são obtidos a partir de uma metodologia de cálculo que em geral, integra os elementos considerados nos anexos da Diretiva 2002/91/CE que, em síntese, são:

- A posição e orientação do edifício.
- As características térmicas do envelope.
- As características das instalações de aquecimento, água quente, arrefecimento e ventilação.

A ênfase é colocada nos sistemas solares passivos, ventilação natural e outros aspectos relacionados ao uso de energia renovável. A materialização da metodologia de cálculo foi feita através do denominado “Procedimento de Referência”, conforme indicado no Real Decreto 47/2007, de 19 de janeiro, que aprova o procedimento básico para a Certificação de Eficiência Energética de Edificações Novas.

4. Portugal: Metodologia de eficiência energética nas edificações

Nosso foco está na evolução dos métodos de cálculos dos edifícios de habitação e seus marcos histórico, que nos permite entender os procedimentos atuais de cálculos dos algoritmos efetuados pelo *software* Cypetherm REH, que são os mesmos informados pela empresa TOP Informática Lda (topinformatica.pt), responsável pela distribuição dos *softwares* da Cype em Portugal.

A seguir seguem alguns referenciais históricos, com o recorte das implantações, para metodologia do processo de eficiência energéticas das moradias unifamiliares em Portugal.

4.1. Determinação do cenário de comparação

Com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o Decreto – Lei nº 118/2013 de 20 de agosto, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Essa referência visa estabelecer as regras e procedimentos que permitam cumprir as exigências mínimas de eficiência energética, no que diz respeito às necessidades energéticas do edifício, onde o papel do isolamento térmico é preponderante.

Entre outras bases, os princípios de cálculos para a qualificação da eficiência energéticas estão baseados no CAPÍTULO III - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

Assim, todos os cálculos foram definidos pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), que dispõe [5]:

- O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) de um edifício de habitação novo, não pode exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i), e que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) de um edifício de habitação novo, não pode exceder o valor máximo de energia útil para arrefecimento (N_v).
- O valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) de um edifício de habitação novo, não pode exceder o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária (N_t).
- O valor da taxa de renovação horária nominal de ar para as estações de aquecimento e de arrefecimento de um edifício de habitação novo, calculada de acordo com o estabelecido pela DGEG, deve ser igual ou superior ao valor mínimo de renovações horárias a definir em portaria do membro do Governo responsável pela área da energia.
- O recurso a sistemas passivos que melhorem o desempenho energético do edifício deve ser promovido e o respetivo contributo considerado no cálculo das necessidades de energia do edifício, com base em normas europeias ou regras definidas pela DGEG

- A eficiência dos sistemas técnicos visa promover a eficiência e a utilização racional de energia, incidindo, para esse efeito, nas componentes de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de sistemas de gestão de energia, de energias renováveis.
- Um conjunto de disposições relativas aos edifícios nZeb determinando que o parque edificado deve, progressivamente, ser composto por edifícios nZeb, com vistas à implementação e execução de um plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes.

4.1. Zoneamento Climático - REH e DB-HE

O Despacho n.º 15793-F/2013, define três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente [4].

As zonas climáticas de inverno foram definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base 18 °C, correspondente à estação de aquecimento. O zoneamento climático de Portugal, baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III.

As zonas climáticas de inverno são ponderadas os graus-dias de inverno na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, a duração da estação de aquecimento, a Temperatura exterior média do mês mais frio, e a Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m².mês]

Tabela 1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 \leq GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão foram definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento, e ponderam a Duração da estação = 4 meses = 2928 horas, a Temperatura exterior média, [°C] e a energia solar acumulada durante a estação[kWh/m²].

Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\varnothing_{\text{ext,V}} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \varnothing_{\text{ext,V}} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\varnothing_{\text{ext,V}} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Estando os procedimentos de cálculos, com as tabelas e formulas, descritos Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.

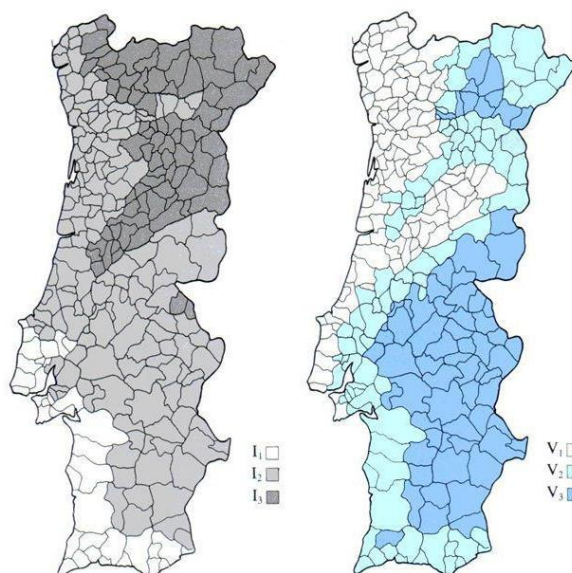


Figura 1 - Zonas climáticas de inverno e verão no continente

4.2. Valores de Cálculos

Para a metodologia de determinação da classe de desempenho energético, bem como os requisitos de comportamento técnicos, temos as definições fornecidas pela Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29 que, por ser uma base de referência extensa, optamos por não colocar neste documento.

4.3. Energia para aquecimento, de Referência (Ni) e Real (Nic)

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Ni), são definidos pelo uso da fórmula [6]:

$$Ni = (Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref}) \gamma_{Ap} \quad [kWh/(m^2.ano)]$$

Fórmula 1 – Necessidades anuais de energia útil para aquecimento (Ni),

Em que:

Q_{tr} – Transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento, através da envolvente dos edifícios [kWh];

Q_{ve} – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh];

Q_{gu} – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²].

De acordo com a Portaria n.º 319/2016, em vigor desde 15 de dezembro de 2016, tende ser considerado um valor de necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de 5 kWh/(m².ano).

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), é dado pela expressão do N_i , porém usando os valores de cálculos.

Estes valores refletem a quantidade de energia anual necessária para aquecer a habitação até à sua temperatura de conforto (18°C), e resulta da diferença entre a quantidade de ganhos térmicos (ganhos solares ou cargas térmicas internas), e as transferências (perdas) de calor (pelos elementos construtivos da envolvente ou por ventilação).

4.4. Energia para arrefecimento, de Referência (N_v) e Real (N_{vc})

O valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v) [6].

$$N_v = (1 - \eta_{vref}) \times Q_{g,vref} / A_p \quad [kWh/m^2.ano]$$

Fórmula 2 - Valor máximo para necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v)

Onde:

η_{vref} – Fator de utilização de ganhos térmicos de referência;

$Q_{g,vref}$ – Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento [kWh].

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), é dado pela mesma expressão do N_v , sendo que o fator de utilização de ganhos na estação de arrefecimento, é determinado pelo mesmo método usado na estação de aquecimento, assim é necessário determinar para esta estação a transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$), por renovação do ar ($Q_{ve,v}$) e os ganhos térmicos ($Q_{g,v}$).

O fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é dado pela equação [9]:

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & \Delta\theta \leq 0 \end{cases} \quad e \quad \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}$$

em que:

- $\theta_{ref,v}$ - Temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, contabilizada em 25 graus celsius (°C)
- $\theta_{ext,v}$ - Temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia

Fórmula 3 - Fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento

Os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, são dados pela expressão seguinte, tendo em consideração os parâmetros de referência abaixo indicados [9]:

$$Q_{g,vref}/A_p = \left[q_{int} \cdot \frac{L_v}{1000} + g_{vref} (A_w/A_p)_{ref} I_{solref} \right] \quad [\text{kWh/m}^2]$$

em que:

- q_{int} - Ganhos internos médios, contabilizados em 4 W/m²
- I_{solref} - Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia [kWh/(m².ano)]
- L_v - Duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas
- (A_w/A_p) - Razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%
- g_{vref} - Fator solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizado em 0,43

Fórmula 4 - Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento

4.5. Energia Primária, Referência (Nt) e Real (Ntc)

As regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema, para os sistemas solares fotovoltaicos, dizem que a energia produzida, deve ser determinada com recurso à versão em vigor do programa Solterm do LNEG ou outra ferramenta que utilize metodologia de cálculo equivalente, devidamente validada por entidade competente designada para o efeito pelo ministério responsável pela área de energia [8].

Também são descritos os cálculos para os sistemas de fontes de energia renováveis para mini-hídrica, geotermia, biomassa, aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e sistemas eólicos.

Para o valor das necessidades nominais de energia primária reais (N_{tc}), temos definido [6]:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad \left[\frac{\text{kWh}_{EP}}{\text{m}^2 \cdot \text{ano}} \right]$$

Fórmula 5 - Valor das necessidades nominais de energia primária reais (N_{tc})

Em que:

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} – Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k ;

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k ;

η_k – Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fonte de energia renovável, à exceção de sistemas de queima a biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j – Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p – Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

W_{vm} – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP}/kWh];

O valor para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t) é idêntica à do N_{tc} , sendo que neste deverão ser utilizadas, a eficiência de referência, sem os valores para energia renováveis.

Também são definidas tabelas[8] com coeficientes padrões para desempenho energético, que sofrem alterações significativas constantemente em seus valores, para adaptação da necessidade nZeb solicitação com a evolução da implementação dos processos da eficiência energética e sua adaptação das metodologias e materiais da construção civil.

5. Espanha: Metodologia de eficiência energética nas edificações

O enfoque deste tópico está na evolução da metodologia de cálculos dos edifícios de habitação e seus marcos históricos na Espanha, a fim de se entender os procedimentos atuais de cálculos efetuados pelos *software* Cypetherm HE Plus, informados pelo suporte da empresa *Cype Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Essa organização desenvolveu o algoritmo válido para certificação energética na Espanha, onde descreve que os documentos “*Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética*” e “*Documento Básico HE Ahorro de energía*”, são a base dos cálculos realizados pelo programa. Para a concepção da etiqueta energética na Espanha foi realizado um estudo que consta no documento CEN prEN 15217 “*Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*” (versão dezembro 2005), com base no CTE (*Código Técnico de la Edificación*), usando como referências as construções de 2016, edificadas em Madrid.

O referido documento, elaborado pela Comissão Técnica CEN/TC 89 desenvolveu, entre outros, os aspectos da Diretiva 2002/91/CE relativos à escala de classificação energética, estabelecendo que o instrumento objetivo de comparação e avaliação do comportamento energético da edificação é em relação ao comportamento de edificações semelhantes, a chamada escala de comportamento ou escala de avaliação, e a classe de eficiência que corresponde a cada edifício, é obtida a partir dos chamados indicadores de desempenho energético. O referido documento propõe um procedimento para estabelecer os limites das classes de eficiência com base em três indicadores energéticos [12]:

1. O correspondente ao objeto de construção (I_{objeto}).
2. O valor médio do indicador correspondente a edifícios novos semelhantes que se encontrem de acordo com a regulamentação em vigor em 2006 ($I_{Regulamento}$).

3. O valor médio do indicador correspondente a edifícios semelhantes no parque imobiliário existente em 2006 (I_{stock}).

5.1. Determinação do cenário de comparação

Para cada um dos indicadores energéticos e para cada um dos graus de similaridade identificados, o cenário de comparação é obtido estimando-se a situação provável que terão os edifícios construídos em 2006. As hipóteses levantadas foram [11]:

- a) Nos novos edifícios destinados a habitações terão uma tipologia semelhante às construídas na década de 1991-2000.
- b) A qualidade construtiva da sua envolvente, de forma a limitar a procura de energia, não excederá substancialmente os requisitos expressos no CTE-HE 1 (*Condiciones para el control de la demanda energética*).
- c) O desempenho dos seus sistemas térmicos e o aporte de energias renováveis seguem os valores mínimos exigidos pela CTE-HE 2 (*Condiciones de las instalaciones térmicas*) e CTE-HE 4 (*Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria*). Nos casos em que não haja indicações precisas, será assumido que as tendências anteriores à implantação do CTE são mantidas.
- d) A contribuição da iluminação artificial não é considerada significativa.

5.2. Demanda de energia para aquecimento e resfriamento

A demanda de aquecimento e arrefecimento foi determinada através do programa “*Herramienta Unificada LIDER/CALENER (HULC)*”, utilizando como qualidade de construção de cada edifício, aquela que seria derivada do estrito cumprimento dos requisitos do HE 1 do CTE [13]. Relativamente ao número de ocupantes por habitação, foi considerada uma taxa constante de um ocupante por 33,3 m², que corresponde ao valor médio de ocupação do Censo de Edifícios 1991-2000 do INE (*Instituto Nacional de Estadística*). Apesar de a ocupação depender da superfície útil da habitação, optou-se por não considerar este fator para não prejudicar desnecessariamente as habitações com pouca superfície útil (uma vez que os indicadores são expressos por m² de superfície) [14].

Resumidamente, a eficiência média sazonal é obtida a partir dos rendimentos nominais, afetando-os pelos fatores de correção devidos à carga parcial e ao tipo de regulamento [13].

Os valores de retornos nominais possíveis ou esperados - obviamente superiores ao mínimo - foram obtidos a partir da gama de produtos no mercado e fazendo uso de regulamentações existentes de outros países.

5.3. Zonas Climáticas

Para o zoneamento climático, treze zonas climáticas são estabelecidas, identificadas por uma letra maiúscula correspondente à severidade climática no inverno (A-E) e um numeral (1-4) correspondente aos valores do verão. Uma nova zona climática alfa foi introduzida nas Ilhas Canárias.

Para Espanha, o DB-HE está descrito no “*Anejo B Zonas climáticas*”, as zonas climáticas para as principais cidades, acrescento a numeração, para a classificação de verão, conforme a altura da localização da cidade.

Para calcular a zona climática é utilizado a "severidade climática de inverno" (SCI), que pondera a os graus-dias de inverno com base em 20, o quociente entre o número de horas de sol e o número de horas máximas de sol, e coeficientes de regressão.

E a “severidade climática de verão” (SCV), que pondera os graus-dias de verão de base 20 com coeficientes de regressão.

Estando os procedimentos de cálculos, com as tabelas e formulas, descritos no "*Documento descriptivo climas de referencia*" de 2017 da "*Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo*".

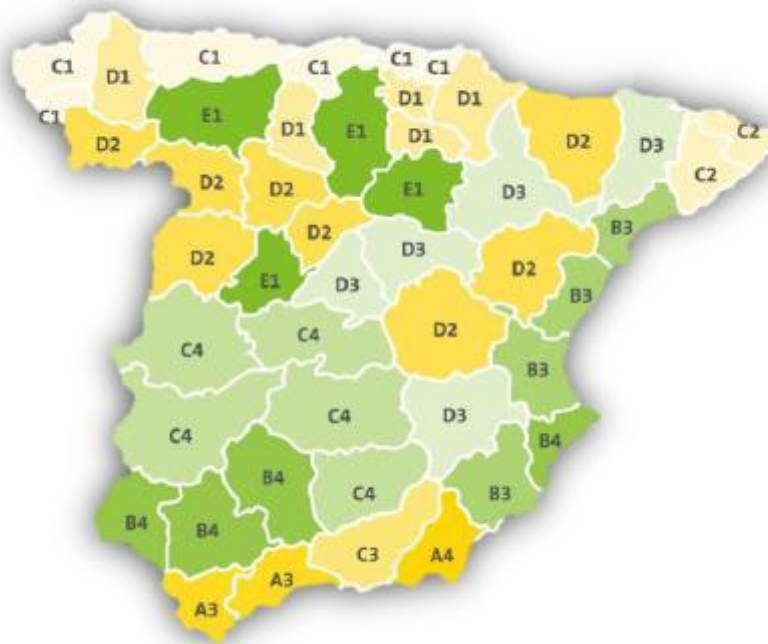


Figura 2 – Mapa de zonas Climáticas da Espanha (Fonte: <https://www.isover.es/revision-codigo-tecnico-de-la-edificacion-db-he>)

A seleção da zona climática para fins de verificação das necessidades de demanda e consumo do DB-HE, de acordo com os critérios estabelecidos pelo CTE, devem ser realizadas, considerando a altitude do local onde se encontra o edifício e a capital provincial localizada a edificação, como estabelecido na “*Tabla a-Anejo B*” do CTE[14].

5.4. Consumo de energia primária e emissões de CO₂

Os coeficientes de passo usados para ir da energia final às emissões de CO₂ foram retirados do “*Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*” e do “*Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España*”.

Esse documento caracteriza as expressões matemáticas dos cenários de comparação, com as demandas de energia para aquecimento, arrefecimento e de AQS, com os rendimentos médios sazonais e os coeficientes de transição da energia final para as emissões de CO₂, nos prováveis cenários de demanda e emissão que se encontraram nos edifícios residenciais construídos em 2006 e que cumpriam rigorosamente as normas vigentes.

De acordo com os indicadores selecionados, são obtidos os seguintes cenários de comparação para cada localidade [12]:

- Demandas de aquecimento e refrigeração.

- Emissões de CO₂ e consumo de energia primária correspondente a cada um dos serviços considerados: aquecimento, arrefecimento e água quente sanitária.
- Emissões totais de CO₂ do edifício.

Dessa forma, todos os valores iniciais foram retirados de uma amostra que representava a distribuição de frequência acumulada correspondente a 14.849 valores que compõem o cenário de comparação nas emissões totais de CO₂ e demandas de aquecimento e arrefecimento de edifícios residenciais unifamiliares localizados em Madrid [12].

5.5. Cálculo dos indicadores de eficiência energética do edifício

O procedimento para calcular a demanda de energia, o consumo de energia e outros indicadores de eficiência de energia do edifício estão nas disposições do documento reconhecido como: *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* [16].

Podemos encontrar no “Anejo A. Terminología”, do referido documento supracitado, a definição para os cálculos [15], do coeficiente global de transferência de calor (por meio do envelope térmico do edifício) (K) expresso em W/m²:

$$K = \sum x H_x / A_{int}$$

Fórmula 7 - coeficiente global de transferência de calor (por meio do envelope térmico do edifício) (K) expresso em W/m² (Fonte: *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* Anexo A. Terminologia)

H_x: corresponde ao coeficiente de transferência de calor do elemento x pertencente, ao envolvente térmico (incluindo suas pontes térmicas). Esses elementos estão incluídos: Os em contato com o solo, os em contato com o ambiente externo, e aqueles em contato com outros edifícios ou outros espaços adjacentes;

A_{int}: é a área de troca do envelope térmico obtido como a soma dos diferentes componentes considerados na transmissão de calor. Portanto, exclui as áreas de elementos do envelope térmico em contato com edifícios ou espaços exteriores adjacentes ao envelope térmico.

De forma simplificada, este parâmetro pode ser calculado a partir das transmitâncias e superfícies térmicas dos elementos da envolvente térmica, com fatores de ajuste:

$$K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j X_{x,j}] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$$

Fórmula 8 – Coeficiente global de transferência de calor (através do envelope térmico do edifício) (K):DB-HE

Onde:

$b_{tr,x}$ é o fator de ajuste para os elementos da envolvente. Seu valor é 1 exceto para elementos em contato com edifícios ou espaços adjacentes fora do envelope térmico, onde é assumido o valor 0;

$A_{x,i}$ é a área de troca do elemento da envolvente térmica considerado;

$U_{x,i}$ é o valor da transmitância térmica do elemento da envolvente térmico considerado;

$l_{x,k}$ é o comprimento da ponte térmica considerada;

$\psi_{x,k}$ é o valor da transmitância térmica linear da ponte térmica considerada;

$X_{x,j}$ é o ponto de transmitância da ponte térmica considerada .

6. Elementos da envolvente envidraçada

Tabela 3 - Fator de sombreamento por elementos horizontais

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW
REH – (F0)	0	0.75	0.75	0.75
HE – (Fsh;obst)	0	0.71	0.55	0.71

Fonte: DECRETO-LEI N.º 118/2013 e DA DB-HE / 1

O modelo estudado, possui a classe de inércia térmica Média, então usaremos os valores referidos nos cálculos, para a classe de inércia térmica média, como solicitados pela SCE.

Assim, com o valor de inércia térmica do edifício, se obtém o fator solar global (gT - Portugal) (GUIA SCE 1, 2020) e ($ggl;sh;wi$ - Espanha) (DB-HE, 2019).

6.1. Cálculos para Portugal

Para Portugal o fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados, não orientados no quadrante norte, de um compartimento, é verificado através do somatório da sua área (A_{env}), quando inferior a 5%, da área de pavimento do compartimento que serve (A_{pav}), da seguinte forma:

Tabela 4 - Portugal - Fator solar de vãos envidraçados

Fator solar de vãos envidraçados	REH
Quadrante norte	Sem Requisito
$Se (A_{env} \leq 0,05 \times A_{pav})$	
$Se (0,05 \times A_{pav} < A_{env} \leq 0,15 \times A_{pav})$	$gT \cdot Fo \cdot Ff \leq gT_{máx}$

Onde:

gT – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

Fo – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas (estação de arrefecimento);

Ff – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes do edifício (estação de arrefecimento);

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados, não orientados no quadrante norte, que servem o compartimento [m^2];

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento servidos pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [m^2].

6.2. Cálculos para Espanha

Com forme a DB-HE - Anejo A. Terminología- Control solar, os cálculos para o controle solar, é obtido com a seguinte fórmula:

$$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = (\sum k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w;p} \cdot H_{sol;jul}) / A_{util}$$

Onde:

$F_{sh;obst}$ é o fator de redução devido ao sombreamento causado por obstáculos externos (inclui todos os elementos fora do poço, como saliências, asas laterais, recuos, obstáculos remotos, etc.), para o mês de julho, do buraco k, e representa a redução da irradiação solar incidente devido ao sombreamento permanente dos referidos obstáculos.

O $F_{sh;obst}$ corresponde à nomenclatura anterior do fator de sombra do eixo (FS) do cálculo do fator solar modificado de furos e claraboias no DA DB-HE / 1;

$g_{gl;sh;wi}$ é a transmitância total de energia solar da vidraça com o dispositivo móvel de sombreamento ativado, para o mês de julho e do vão k;

F_F é a fração do quadro do vão k (de forma simplificada, o valor de 0,25 pode ser adotado)

$A_{w;p}$ é a superfície (m^2) do furo k;

$H_{sol;jul}$ é a irradiação solar média acumulada para o mês de julho ($kWh / m^2 \cdot mês$) para o clima considerado e a inclinação e orientação do furo k.

Os valores de $F_{sh;obs}$, $g_{gl;sh;wi}$ y $H_{sol;jul}$ para o cálculo do controle solar podem ser obtidos nas tabelas do DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente térmica.

7. Sistemas técnicos

Como descrito, estamos levantando informações somente oriundas das habitações unifamiliares, então vamos descrever, soluções que se caracterizem este aspecto.

7.1. Caldeiras - Requisitos de eficiência

Tabela 5 - Requisitos mínimos de eficiência de caldeiras a combustível líquido ou gasoso.

Norma	Rendimento nominal(η)	VEEI _{lim}	Classe de eficiência
REH	> 89%	-	A
HE	-	4.0	A

Fonte: Guia SCE - Avaliação de Requisitos (REH) e HE 3. *Condiciones de las instalaciones de iluminación*

7.2. Bombas de Calor para A.Q.S. - Requisitos de eficiência

Tabela 6 - Requisitos mínimos de eficiência de bombas de calor, A.Q.S. e/ou aquecimento

Norma	Referencial nominativo	Eficiência	Temperatura
REH	EN14511 ou EN16147	$COP \geq 2,30$	>45 °C
HE	RITE	SCOP $\geq$ 2,50 - Elétrico SCOP $\geq$ 1,15 - Térmico	>45 °C

Fonte: Guia SCE - Avaliação de Requisitos (REH) e HE 4. *Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria*

Tabela 7 - Referência de Demanda de A.Q.S. – T3

Descrição	REH	HE
Consumo diário(l/dia)	36	28
Temperatura (°C)	55	55
Ocupantes	4	4
Consumo Global Diário (l/dia)	144	112

Fonte: SCE.ER versão 1.7.0 e DB-HE Anejo F Demanda de referencia de ACS

8. Indicadores de eficiência energética

Em Portugal os indicadores energéticos podem ser dados pela subtração dos valores das necessidades nominais de energia útil real pela de referência (Quadro 2 - Portaria 349-B/2013), permitindo que um edifício sujeito a grande intervenção atingir no mínimo classe energética C, conforme tabela abaixo:

Porem para edifícios novos, devemos respeitar a tubulação de indicador energético

Tabela 8 - Relação entre os valores das necessidades nominais e limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária de edifícios sujeitos a grandes intervenções

Ano de construção	Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,50
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,50
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,50

Tabela 9 - Indicadores energéticos máximos.

Norma*		Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt	A.Q.S	Solar térmico
REH	Requisitos**	$Nic \leq Ni$	$Nvc \leq Nv$	$Ntc \leq Nt$	$Nac \leq Na$	$Esolar \geq Esolar, padrão$

*Portaria n.º 349-B/2013, **Decreto-Lei N.º 80/2006 e *Tabla 3.1.1.b*

Para a Espanha, os indicadores são de acordo ao DB-HE referido (Diretiva 93/76 /CEE), entre eles, temos os exemplos:

DB-HE 0 - Limitação de consumo de energia

- Consumo de energia primária não renovável ($C_{ep, nren}$);
- Consumo total de energia primária ($C_{ep, total}$);

DB-HE 1 - Condições para controle de demanda enérgico

- Transmitância da envolvente térmica K

O coeficiente global de transmissão de calor através do envelope térmico (K) do edifício, ou parte dele, com uso residencial privado, não pode exceder o valor limite (K_{lim}) obtido na *tabela 3.1.1.b-HE 1*, então como descrito no DB-HE 1, “*Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación*”, se calcula o valor do K_{lim} para o V/A [m^3/m^2], com referência aos valores existentes nos “*Tabla 3.1.1.b – HE 1 Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado*” do referido documento, é obtido por interpolação.

- Controle solar da envolvente térmica ($q_{sol; jul}$);
- Permeabilidade ao ar da envolvente térmica (n_{50} / Q_{100});

DB-HE 3 - Condições de instalações de iluminação

- Sistemas de controle e regulação (VEEI, P_{max})

DB-HE 4 - Contribuição mínima de energia renovável para cobrir a demanda de AQS

- Coberto por energias renováveis 60-70%

DB-HE 5 - Geração mínima de energia elétrica

- Potência mínima para instalar fotovoltaica

Ambos os países, buscam suprir de acordo com suas zonas climáticas de inverno, o conceito da *nZeb(edifícios de consumo casi nulo (EECN))*, conforme a Diretiva 2010/31/UE e da UNE-EN-ISO 52000-1: 2017.

Bibliografia

- [1] Diretiva do Conselho 93/76 /CEE de 13 de setembro de 1993
- [2] Real Decreto 47/2007, de 19 de janeiro.
- [3] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio, 2010, sobre a eficiência energética de edifícios. (Reformulação).
- [4] Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03.
- [5] Guia SCE – Conceitos e Definições (REH) - ADENE - 13-Mar-2020
- [6] GUIA SCE – Cálculo de Indicadores de Desempenho Energético (REH) - ADENE - 13-Mar-2020

- [7] GUIA SCE – Avaliação de Requisitos (REH) - ADENE - 13-Mar-2020
- [8] O Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03
- [9] Guia SCE - Indicadores de desempenho (REH) - ADENE - 13-Mar-2020
- [10] Portaria n.º 297/2019 D.R. n.º 172, Série I de 2019-09-09
- [11] Escala de calificación energética para edificios existentes.- IDAE - Madrid, mayo de 2011
- [12] Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción - IDAE - Madrid, mayo de 2009
- [13] REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS - Madrid Septiembre de 2013
- [14] Documento Básico HE - Ahorro de energía - Ministerio de Fomento - 20 de diciembre 2019
- [15] Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.-IDAE- Abril 2019
- [16] DB-HE - Documento Básico HE Ahorro de energía

ANEXO V – Orçamento Arquimedes Fachada leve de placas. Sistema Placotherm Integra "PLACO"

FLY020 m² Fachada ligera de placas. Sistema Placotherm Integra "PLACO". 104,93€

Fachada ligera de placas. Sistema Placotherm Integra Glasroc X "PLACO" formado por: ESTRUCTURA EXTERIOR: estructura metálica de acero galvanizado de canales horizontales THR 100, de acero galvanizado Z1 (Z140) y montantes verticales THM 100, de acero galvanizado Z1 (Z140), con una modulación de 400 mm; AISLAMIENTO EXTERIOR: panel compacto de lana mineral Arena, de alta densidad, Arena Master "ISOVER", según UNE-EN 13162, de 90 mm de espesor, sin revestir, resistencia térmica 2,35 m²K/W, conductividad térmica 0,038 W/(mK), colocado a tope; PLACA EXTERIOR: placa de yeso laminado GM-FH1 / UNE-EN 152832 - 1200 / 2800 / 12,5 / con los bordes longitudinales afinados, Glasroc X 13 "PLACO"; ESTRUCTURA INTERIOR: estructura metálica interior de acero galvanizado de perfiles angulares CR2 y perfiles intermedios THZ 45, de acero galvanizado Z1 (Z140) con una modulación de 600 mm; AISLAMIENTO INTERIOR: panel semirrígido de lana mineral Arena de alta densidad, Arena Basic, según UNE-EN 13162, de 45 mm de espesor, no revestido, resistencia térmica 1,2 m²K/W, conductividad térmica 0,037 W/(mK), colocado a tope; PLACAS INTERIORES: dos placas de yeso laminado DFI / UNE-EN 520 - 1200 / 2500 / 12,5 / con los bordes longitudinales afinados, Phonique PPH 13 "PLACO"; IMPERMEABILIZACIÓN: lámina altamente transpirable, impermeable al agua de lluvia, Tyvek StuccoWrap, fijada a los montantes de la estructura metálica por la cara exterior; REVESTIMIENTO EXTERIOR: capa base de malla de refuerzo CMALL 160 embebida entre dos capas de mortero polimérico de altas prestaciones reforzado con fibras, Placotherm Base, color blanco, compuesto de cemento blanco, cargas minerales, resinas hidrófugas redispersables, fibras y aditivos especiales y capa de acabado de mortero acrílico Webertene Stilo, de 2 a 3 mm de espesor, color blanco, gama Estándar, acabado gota, compuesto de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales sobre imprimación reguladora de la absorción Weber CS, compuesta de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales. Incluso banda acústica, tornillería para la fijación de las placas, fijaciones para el anclaje de los perfiles, mortero Placotherm Base y cinta CMALL 160 "PLACO", para el tratamiento de juntas entre placas exteriores, pasta SN "PLACO" y cinta "PLACO", para el tratamiento de juntas entre placas interiores, perfil de PVC con malla de fibra de vidrio antiálcalis, Perfil Goteo "PLACO", para remate de dinteles, y cinta adhesiva de doble cara para la fijación de la lámina altamente transpirable. El precio incluye la resolución de huecos de fachada.

1		Materiales			
mt12plp340a	m	Canal de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), THR "PLACO", fabricado mediante laminación en frío, 100x50 mm de sección y 0,7 mm de espesor, según UNE-EN 14195.	0,700	2,01	1,41
mt12plp350a	m	Montante de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), THM "PLACO", fabricado mediante laminación en frío, 100x40 mm de sección y 1 mm de espesor, según UNE-EN 14195.	2,000	3,25	6,50
mt12plt035a	Ud	Tornillo autoperforante rosca-chapa, THRPF 13 "PLACO", de 13 mm de longitud.	7,000	0,04	0,28
mt16lvi035f	m²	Panel compacto de lana mineral Arena, de alta densidad, Arena Master "ISOVER", según UNE-EN 13162, de 90 mm de espesor, sin revestir, resistencia térmica 2,35 m²K/W, conductividad térmica 0,038 W/(mK).	1,000	10,60	10,60
mt16aaa030	m	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.	0,880	0,30	0,26
mt12plp080a	m	Perfil angular de acero galvanizado, CR2 "PLACO", fabricado mediante laminación en frío, de 3000 mm de longitud, 34x23 mm de sección y 0,55 mm de espesor, según UNE-EN 14195.	0,700	0,67	0,47
mt12plp360a	m	Perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), THZ "PLACO", fabricado mediante laminación en frío, 45x70 mm de sección y 0,7 mm de espesor, según UNE-EN 14195.	1,700	3,06	5,20

mt12plj020a	m	Banda estanca autoadhesiva, Banda 45 "PLACO", de espuma de polietileno de celdas cerradas, de 3 mm de espesor y 45 mm de anchura, para la estanqueidad de la base y el aislamiento acústico del perímetro en tabiques y trasdosados de placas.	3,600	0,30	1,08
mt16lvi030arfn	m²	Panel semirrígido de lana mineral Arena de alta densidad, Arena Basic "ISOVER", según UNE-EN	1,000	2,90	2,90

			Precio Código		
Unidad	Descripción	Rendimiento unitario	Importe		
	13162, de 45 mm de espesor, no revestido, resistencia térmica 1,2 m²K/W, conductividad térmica 0,037 W/(mK).				
mt15pdw100a	m	Cinta adhesiva de doble cara con adhesivo acrílico, de 50 mm de anchura, con resistencia a los rayos UV, rango de temperatura de trabajo de 20 a 100°C, suministrada en rollos de 50 m de longitud.	1,700	0,45	0,77
mt15mvp010a	m	Lámina altamente transpirable impermeable al agua de lluvia, Tyvek Estándar "PLACO", de 175 µm de espesor y 60 g/m², de 0,01 m de espesor de aire equivalente frente a la difusión de vapor de agua, según UNE-EN 1931, estanqueidad al agua clase W1 según UNE-EN 1928, permeabilidad al aire 2 m³/h·m² a 50 Pa, (Euroclase E de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1), suministrada en rollos de 1,50x50 m, según UNE-EN 13859-2.	1,100	2,55	2,81
mt12plk010fembc	m²	Placa de yeso laminado GM-FH1 / UNE-EN 15283-2 - 1200 / 2800 / 12,5 / con los bordes longitudinales afinados, Glasroc X 13 "PLACO", formada por un núcleo de yeso revestido por las dos caras con fibra de vidrio con tratamiento hidrófobo.	1,000	13,15	13,15
mt28fvp010a	m	Cinta de juntas de malla de fibra de vidrio antiálcalis, CMALL 160 "PLACO", de 160 g/m² de masa superficial, de 100 mm de anchura y 0,52 mm de espesor, suministrada en rollos de 50 m de longitud.	2,100	0,18	0,38
mt28mpp010a	kg	Mortero polimérico de altas prestaciones reforzado con fibras, Placotherm Base, "PLACO", color blanco, compuesto de cemento blanco, cargas minerales, resinas hidrófugas redispersables, fibras y aditivos especiales, para aplicar con llana, para tratamiento de juntas y plastecido superficial de placas en sistemas Placotherm, tipo GP CSIII W2, según UNE-EN 998-1.	4,600	0,55	2,53
mt28fvp050	m	Perfil de PVC con malla de fibra de vidrio antiálcalis, Perfil Goteo "PLACO", para remate de dinteles, suministrado en barras de 2,5 m de longitud.	0,170	1,87	0,32
mt28fvp020a	m	Malla de refuerzo de fibra de vidrio antiálcalis, CMALL 160 "PLACO", de 160 g/m² de masa superficial, de 1,1 m de anchura y 0,52 mm de espesor, suministrada en rollos de 50 m de longitud.	1,100	1,65	1,82
mt12plk010hgpc	m²	Placa de yeso laminado DFI / UNE-EN 520 - 1200 / 2500 / 12,5 / con los bordes longitudinales afinados, Phonique PPH 13 "PLACO", formada por un alma de yeso de origen natural embutida e íntimamente ligada a dos láminas de cartón fuerte, aditivada para mejorar sus prestaciones acústicas.	2,000	6,86	13,72
mt12plj010	m	Cinta microperforada, de papel, "PLACO", para acabado de juntas de placas de yeso laminado.	2,800	0,03	0,08

mt12plm010a	kg	Pasta de secado en polvo SN "PLACO"; Euroclase A2-s1, d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1, rango de temperatura de trabajo de 5 a 30°C, para aplicación manual con cinta de juntas, según UNE-EN 13963; para el tratamiento de las juntas de las placas de yeso laminado.	0,660	0,91	0,60
mt12plt010a	Ud	Tornillo autorroscante TTPC 25 "PLACO", con cabeza de trompeta, de 25 mm de longitud, para instalación de placas de yeso laminado sobre perfiles de espesor inferior a 6 mm.	7,000	0,01	0,07
mt12plt010d	Ud	Tornillo autorroscante TTPC 45 "PLACO", con cabeza de trompeta, de 45 mm de longitud, para instalación de placas de yeso laminado sobre perfiles de espesor inferior a 6 mm.	15,000	0,01	0,15
mt12plt025b	Ud	Tornillo autoperforante THTPF 25 "PLACO", con cabeza de trompeta, de 25 mm de longitud.	20,000	0,03	0,60
mt28pcc060q	kg	Imprimación reguladora de la absorción Weber CS Plus "WEBER", color blanco, gama Estándar, compuesta de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua.	0,200	4,28	0,86
mt28mac020gaa	kg	Mortero acrílico Webertene Stilo "WEBER", color blanco, gama Estándar, acabado gota, compuesto de cargas minerales, resinas en dispersión acuosa, pigmentos orgánicos, fungicidas y aditivos especiales; para aplicar con pistola de proyección. Según UNE-EN 15824.	2,500	3,08	7,70
Subtotal materiales:			74,26		

2

Mano de obra

mo052	h Oficial 1ª montador de sistemas de fachadas	0,939	19,48	18,29	prefabricadas.
mo099	h Ayudante montador de sistemas de fachadas	0,568	18,17	10,32	prefabricadas.

Subtotal mano de obra: 28,61

3

Costes directos complementarios

% Costes directos complementarios

2,000 102,87 2,06

Coste de mantenimiento decenal: 8,39€ en los primeros 10 años.

Costes directos (1+2+3): 104,93

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad ^(a)	Obligatoriedad ^(b)	Sistema ^(c)
UNE-EN 14195:2005	1.1.2006	1.1.2007	
Perfilería metálica para par ticiones, muros y techos en placas de yeso laminado. Definiciones requisitos y métodos de ensayo			3/4
UNE-EN 14195:2005/AC:2006	1.1.2007	1.1.2007	
UNE-EN 13162:2013/A1:2015			
Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación.	10.7.2015	10.7.2016	1/3/4
UNE-EN 15283-1/A1:2009			
Placas de yeso laminado reforzadas con fibras- Definiciones, requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Placas de yeso laminado reforzadas con tejido de fibra	1.6.2010	1.6.2011	3/4
UNE-EN 998-1:2010			
Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.	1.6.2011	1.6.2012	4
UNE-EN 520:2005/A1:2010			
Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.	1.6.2010	1.12.2010	3/4
UNE-EN 13963:2006	1.3.2006	1.3.2007	

Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. EN 13963:2005/AC:2006	1.1.2007	1.1.2007	3/4
UNE-EN 15824:2010 Especificaciones para revocos exteriores y enlucidos interiores basados en ligantes orgánicos.	1.4.2010	1.4.2011	1/3/4

- (a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones



Anexo VI – Detalhamento do sistema *light steel frame* *construction* com isolamento térmico

Índice

1. Referência do desenho e estrutura de isolamento térmico em construtiva em LSF.....	1
2. Modelo Construtivo	2
3. Automação, do Aço Leve ao BIM	3
1.1.1. Construção 4.0.....	4
1.1.2. Construções modulares – LSF e BIM	5
4. Parede exterior.....	8
5. Paredes interiores	10
6. Entre Pisos	11
7. Coberturas.....	14
8. Materias para o desempenho energético dos edifícios.....	16
9. Conclusão	17

1. Referência do desenho e estrutura de isolamento térmico em construtiva em LSF

Os detalhes construtivos, e projeto de isolamento, foram retirados do *Curso de Perfeccionamiento de Projectistas (Detallistas) Estructuras de Acero (Steel Structure Detailing course)*, do Instituto de la Construcción en Seco (INCOSE), que foi elaborado com a parceria da Consul Steel (consulsteel.com), STEEL FRAMING – SISTEMA CONSTRUCTIVO (acero.org.ar) e Instituto

Latinoamericano del Fierro y el Acero (alacero.org). Se alterou as dimensões e alguns detalhes para adaptação ao nZeb na Europa.

2. Modelo Construtivo

O projeto é bem simplificado, somente analisando a eficiência energética em moradias novas, unifamiliares e de âmbito rural, isolada, como um projeto que busca a redução da pobreza energética da população agrária. A validade de todas as normas exigidas para execução de uma construção tem de ser verificada, e cada país tem suas próprias normativas. Abaixo segue uma tabela com alguns exemplos relacionados as normativas do setor AEC em Portugal e Espanha.

Tabela Comparativo das normas para construção de Portugal e Espanha

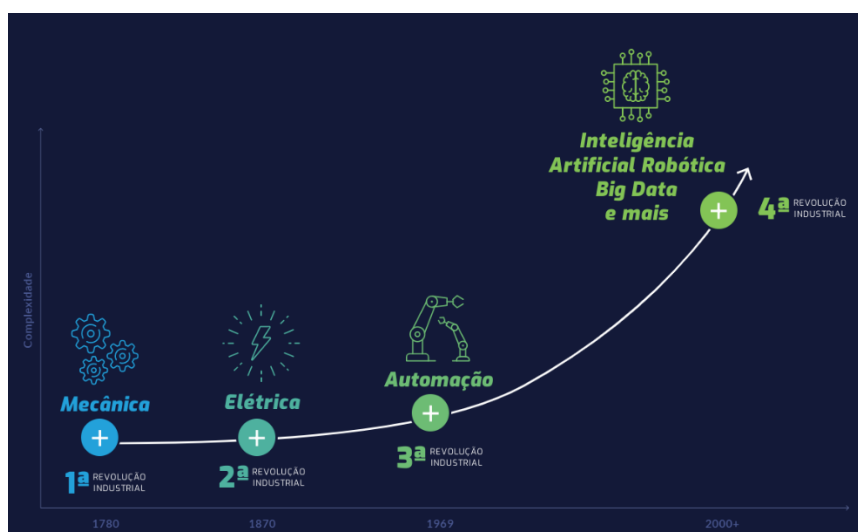
Tipo de normativa	Portugal	Espanha
Edificações Urbanas	RGEU - Regulamento geral das Edificações Urbanas - Decreto-Lei n.º38382/1951	<i>Real Decreto - CTE - Código Técnico de la Edificación</i>
Jurídico para Urbanização	RJUE - Regime Jurídico de Urbanização e Edificação - Decreto-lei n.º 136/2014, Elementos Instrutores Portaria n.º 113/2015, Loteamentos - Portaria n.º 216-B/2008, Modelos de Alvarás-Portaria n.º216-D/2008, Regime jurídico de SCIE - Decreto-Lei n.º 220/2008	<i>Real Decreto 314/2006 - aprueba el Código Técnico de la Edificación, Orden viv/1744/2008 - regula el Registro CTE y Real Decreto 410/2010 – Control de calidad de la edificación y laboratorios de ensayos de calidad de la edificación, para el ejercicio de su actividad.</i>
Segurança contra incêndios	SCIE - Segurança contra incêndios em edifícios - Portaria n.º 1532/2008, Carga de Incêndio - Despacho n.º2074/2009	<i>Documento Básico Seguridad en caso de incendio (DB-SI)</i>
Acessibilidades	Acessibilidades - Decreto Lei n.º 163/2006	<i>Seguridad de utilización y accesibilidad (SUA)</i>
Certificação energética	Decreto-Lei n.º 78/2006 - certificação energética e Decreto-Lei n.º 79/2006 - RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios	<i>Documento Básico Ahorro de energía (DB-HE)</i>
Saúde	Decreto-Lei n.º 279/2009 - Unidades Privadas de Saúde, - Clínicas e Consultórios Médicos, Portaria n.º 290/2012, Portaria n.º 615/2010	<i>Salubridad (DB-HS), Protección frente al ruido (DB-HR)</i>
Arquitetura	Lei n.º 31/2009 - Regime jurídico que estabelece a qualificado profissional, Portaria n.º 701-h/2008 - Fases de Projeto, Portaria n.º 1379/2009 - Classificação dos autores dos projetos	<i>Real Decreto + Parte I y Seguridad Estructural (DB-SE)</i>

3. Automação, do Aço Leve ao BIM

O processo de industrialização é mencionado por Baptista (2005), que aborda a utilização dos elementos de concreto pré-fabricado, como um significativo salto na qualidade dos canteiros de obras pois, através destes componentes industrializados, as obras tornaram-se mais organizadas e seguras, fazendo uso de materiais de melhor qualidade, com fornecedores selecionados e mão-de-obra mais qualificada (Marmorato *et al*, 2013). A industrialização é um processo organizacional e está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, caracterizado por:

- Continuidade no fluxo de produção;
- Padronização;
- Integração dos diferentes estágios do processo global de produção;
- Alto nível de organização do trabalho;
- Mecanização em substituição ao trabalho manual sempre que possível;
- Pesquisa e experimentação organizadas e integradas à produção (Marmorato *et al*, 2013).

As três primeiras revoluções industriais trouxeram a produção em massa, com as linhas de montagem, a eletricidade e a tecnologia da informação, elevando a renda dos trabalhadores, o bem-estar, no conforto e saúde, fazendo da competição tecnológica o cerne do desenvolvimento econômico. Agora, na quarta revolução industrial, temos um impacto mais profundo e exponencial, caracterizado por um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico (INDUSTRIA40, 2020).



A evolução da indústria 4.0 (ABDI - Ministério da Indústria, Comércio e Serviço)

Estando a construção civil também na cadeia produtiva, a construção 4.0 demonstra o caminho natural para aumentar a competitividade, a produtividade e a redução de custos. por meio das tecnologias digitais.

A 4ª revolução industrial também confere maior protagonismo ao BIM, à manufatura aditiva (impressoras 3D), à realidade aumentada e à análise de Big Data (BUILDIN, 2020). Listadas pelo consultor McKinsey da Hexagon (2017), as tendências que irão levar as empresas à Construção 4.0 são (HEXAGON, 2020):

- Pesquisas e geolocalização de alta definição, para evitar discrepâncias entre as condições reais do solo e o escopo do projeto;
- BIM 5D: à representação digital integram-se também informações sobre o planejamento, os custos e o cronograma da construção;
- Colaboração digital e mobilidade;
- Internet das coisas e análise avançada de dados;
- Novos materiais de construção: de nanomateriais a módulos fabricados em impressoras 3D.



Multi Storey Apartment Block, Doha, Qatar (scottsdalesteelframes.com)

1.1.1. Construção 4.0

Para que seja possível explorar o potencial do *Light Steel Framing* como um sistema construtivo industrializado, é necessário a incorporação ao projeto das ferramentas do processo de

industrialização da construção. Essas ferramentas proporcionam uma maior eficiência e produtividade na execução da obra, resultando em construções de qualidade, com baixo potencial de patologias e, conseqüentemente uma maior satisfação por parte do usuário final (Kokke *et al*, 2012).

O conceito da indústria 4.0 na visão da construção civil, gera o conceito de Construção 4.0. Para esclarecer esse conceito, descreve-se abaixo as interações das tecnologias com a construção civil de uma forma mais abrangente (IND40, 2020).

No contexto do canteiro de obras em LSF, a atividade de montagem difere da convencional de insumos, por ser entendida como sendo o ato de unir, por meio de dispositivos de conexão e fixação (como os parafusos) dois ou mais componentes pré-fabricados, com geometrias específicas que irão originar os elementos dos sistemas da edificação. Assim, sob a ótica dos conceitos da *Lean Construction* (construção enxuta), pode-se dizer que a pré-fabricação de componentes proporcionam melhores resultados em sua aplicação na produção, pois reduzem o número de atividades de fluxo (Marmorato *et al*, 2013), definindo dessa forma, um processo de construção enxuta na construção civil, como construção 4.0.

Por meio do sistema em LSF, é possível construir residências recicláveis de forma rápida, segura e com ricas alternativas, com condições de alto conforto para famílias de baixa renda, projetos de transformação urbana e locais, onde existe a necessidade de construção rápida e econômica de residências (Ö Eren, 2013).

A utilização de sistemas construtivos industrializados como o LSF demanda profissionais capacitados, projetos detalhados e integrados de modo a minimizar as perdas e os prazos da construção (Rodrigues, 2006), sendo um processo de construção especializado e tecnológico de grande eficiência.

1.1.2. Construções modulares – LSF e BIM

Nos últimos anos, o desenvolvimento da automação predial levou à invenção de muitas peças de aço pré-fabricados moldados a frio, sendo os painéis de parede um dos principais produtos das estruturas em aço leve modula, especialmente em edifícios de altura média (Usefi e Ronagh, 2020).

As construções modulares são unidades completamente pré-fabricadas, que podem ser entregues no local da obra com todos os acabamentos internos como revestimentos, louças sanitárias, bancadas, mobiliários fixos, metais, instalações elétricas e hidráulicas, etc. As unidades podem ser estocadas lado a lado, ou uma sobre as outras já na forma da construção final. Outro exemplo

muito comum desse tipo de construção são os módulos de banheiros para obras comerciais ou residenciais de grande porte (Kokke, 2012).



Banheiros prontos com o uso do BIM (makebim)

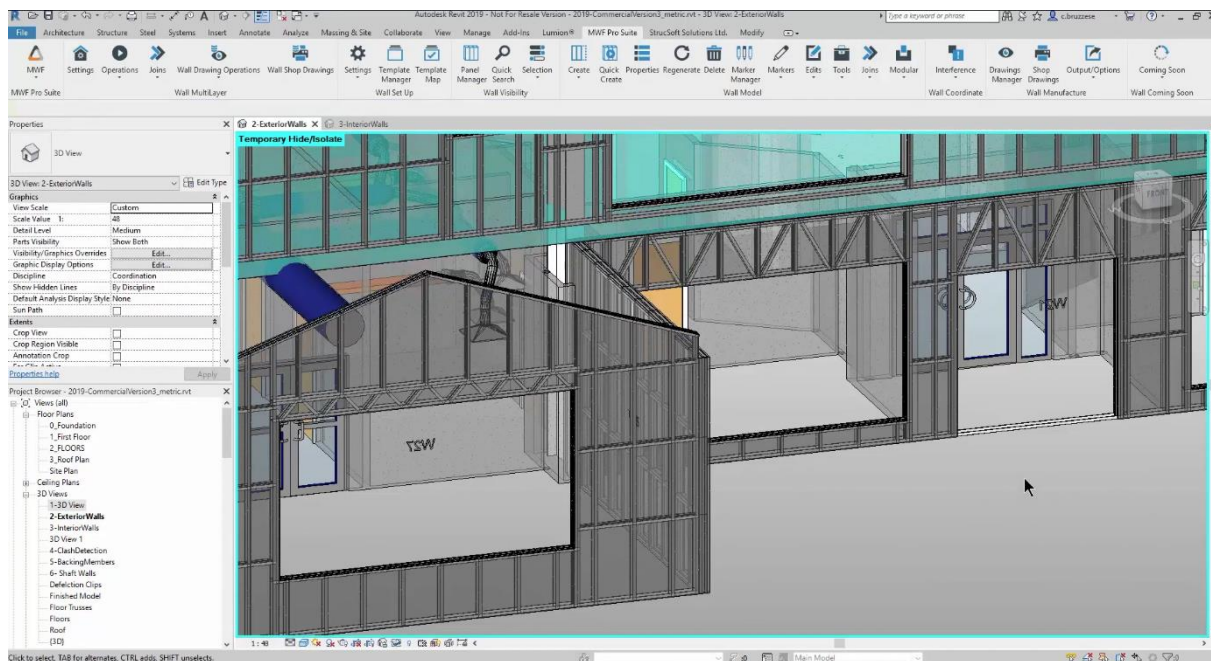
Para Crasto (2005), o LSF se trata de “um sistema construtivo de concepção racional caracterizada pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado compondo sua estrutura e por subsistemas que proporcionam uma construção industrializada e a seco”.

Os produtos que constituem o sistema são padronizados e de tecnologia avançada, onde os elementos construtivos são produzidos industrialmente, com matéria prima utilizada. Os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade (Kokke et al, 2012).

Dessa maneira, a aplicação do sistema LSF permite a redução de custo através da otimização do tempo de fabricação e montagem da estrutura, pois permite a execução de diversas etapas concomitantes. Por exemplo, enquanto as fundações são executadas no canteiro de obra, os painéis das paredes são confeccionados em fábrica (Marmorato *et al*, 2013).

Por ser um sistema industrializado, possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução (Kokke *et al*, 2012).

O sistema de construção em LSF automatizado segue basicamente a seguinte ordem: Projeto em BIM, Logica de transporte e construção.

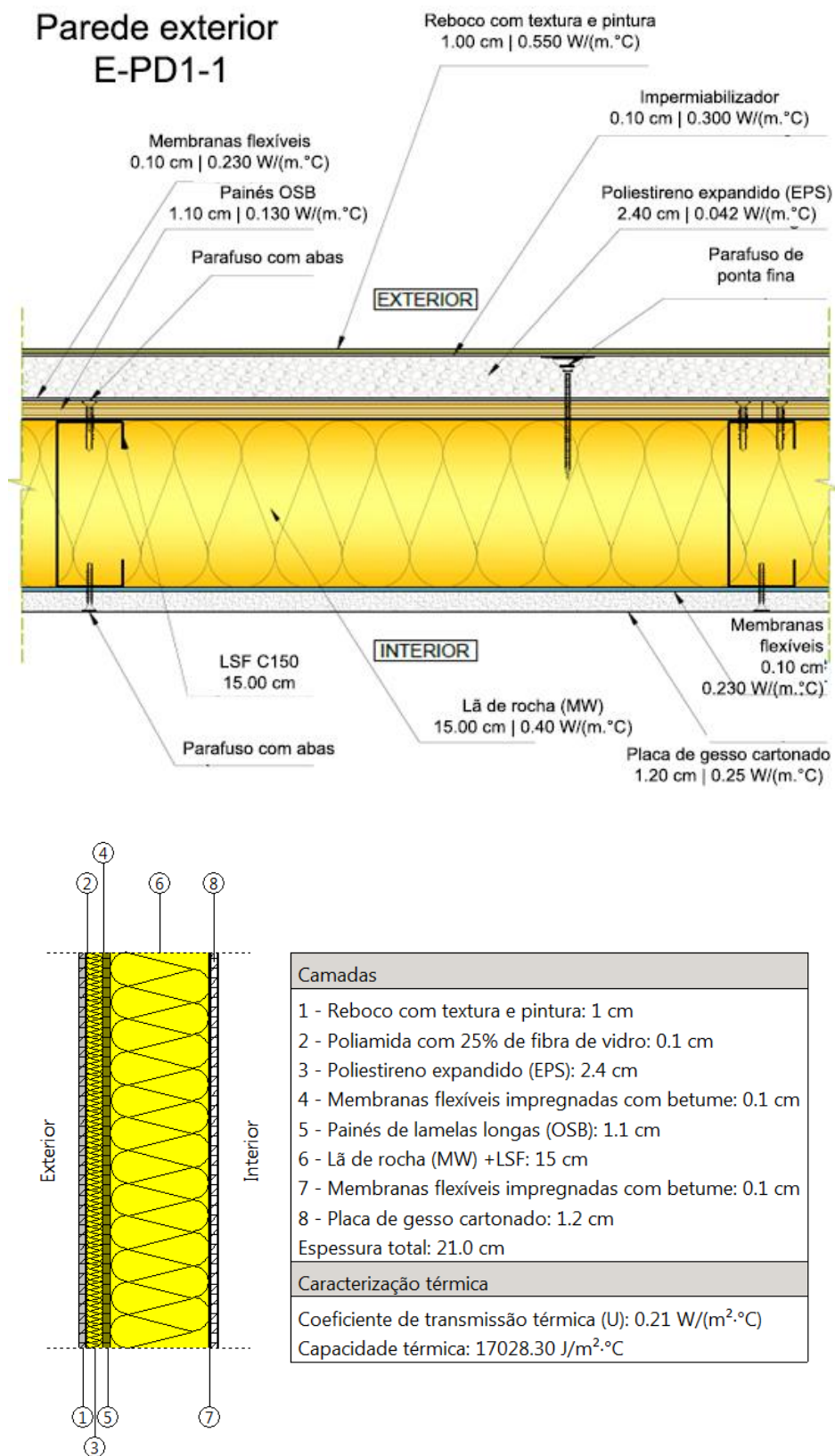


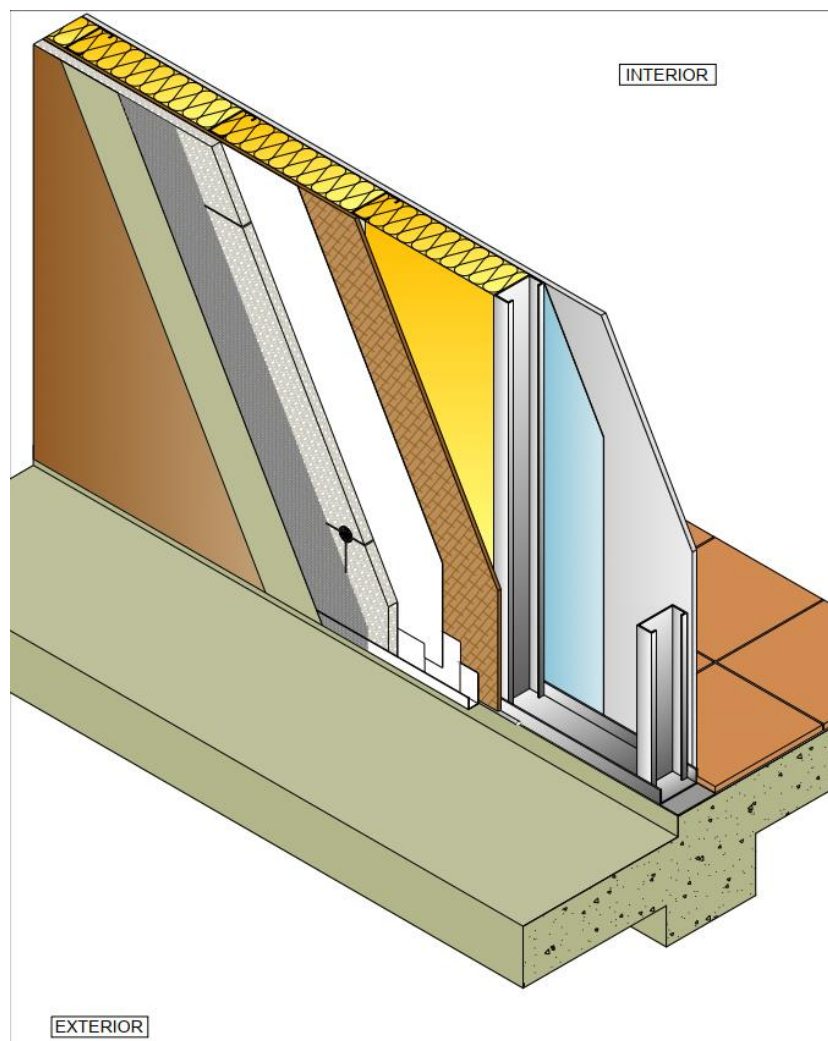
Modelo 3D em BIM – LOD 400 (Revit 2019)

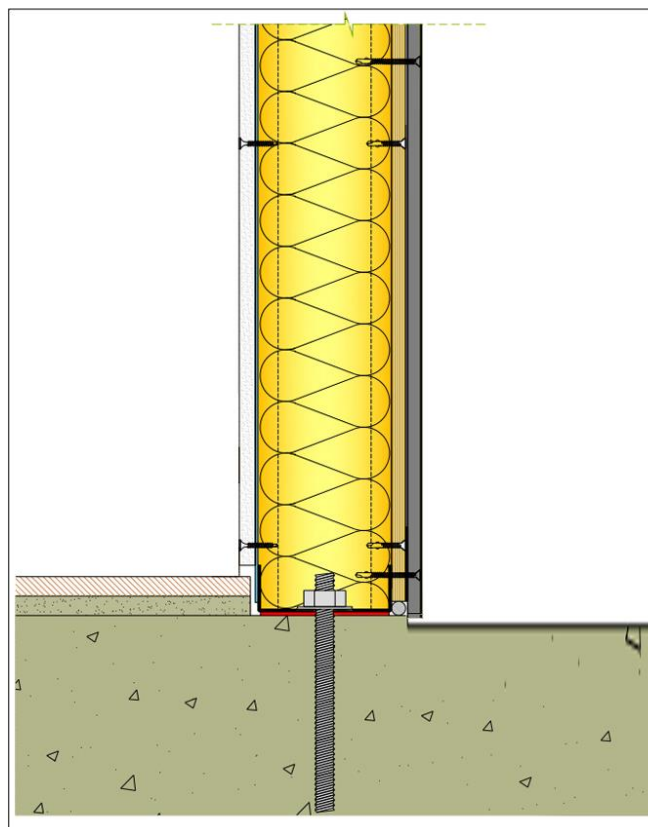
Associando o sistema construtivo em LSF com a metodologia BIM em um processo de construção 4.0, temos um ganho de eficácia em todas as etapas construtivas, ganhando eficiência energética na edificação e consecutivamente, na diminuição dos GEE e aumento da sustentabilidade, com redução de resíduos na natureza, pois o aço é reciclável, podendo ser reciclado diversas vezes sem perder suas propriedades (Kokke *et al*, 2012).

Não podemos confundir os conceitos de construção pré-fabricada com o conceito de construção industrializada com tecnologia *Steel Framing*. As casas pré-fabricadas estão associadas ao conceito de habitação semi-temporária e/ou móvel. Elas são construídas também com quase nenhuma utilização de concreto, mas são feitas com materiais de qualidade inferior. A construção industrializada em LSF obtém casas com as mesmas características técnicas e de instalações, que as habitações tradicionais.

4. Parede exterior

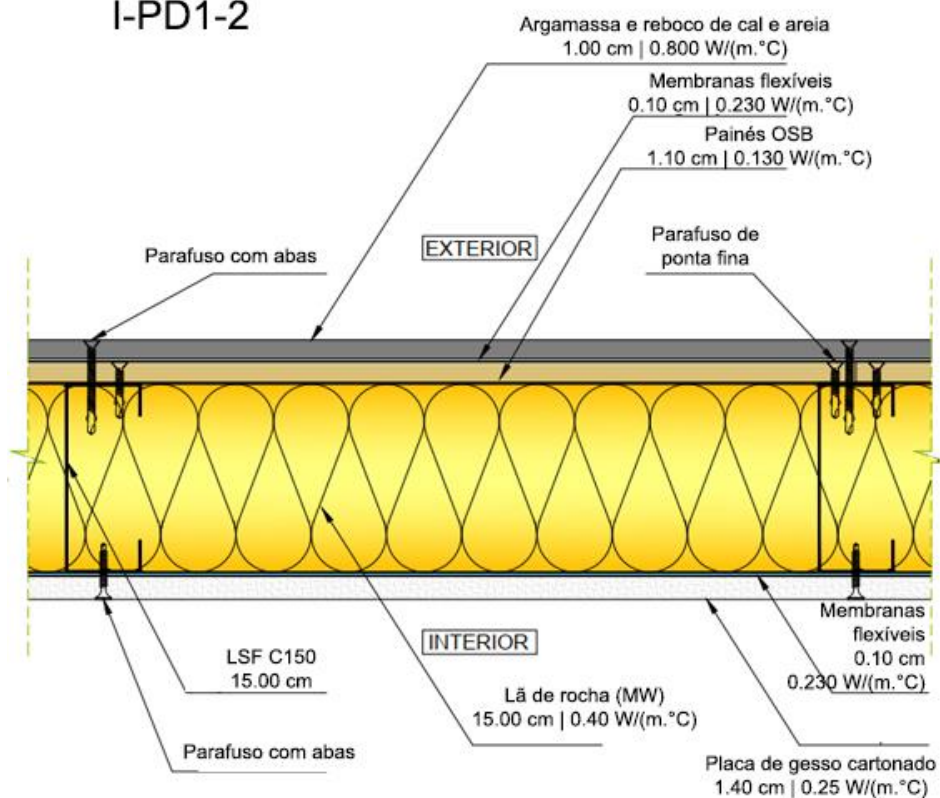


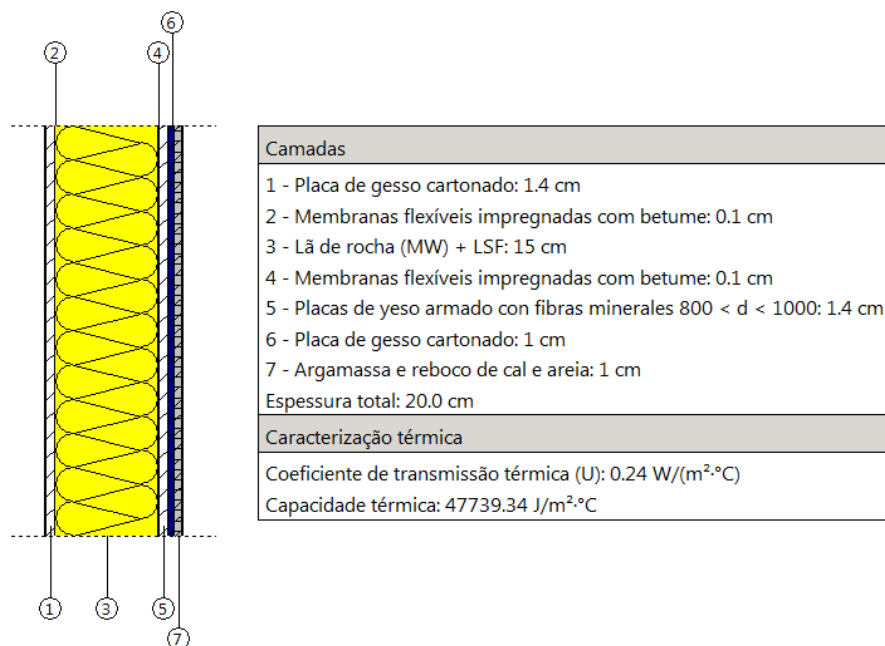




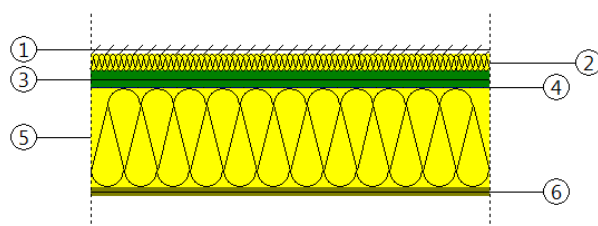
5. Paredes interiores

Parede exterior I-PD1-2

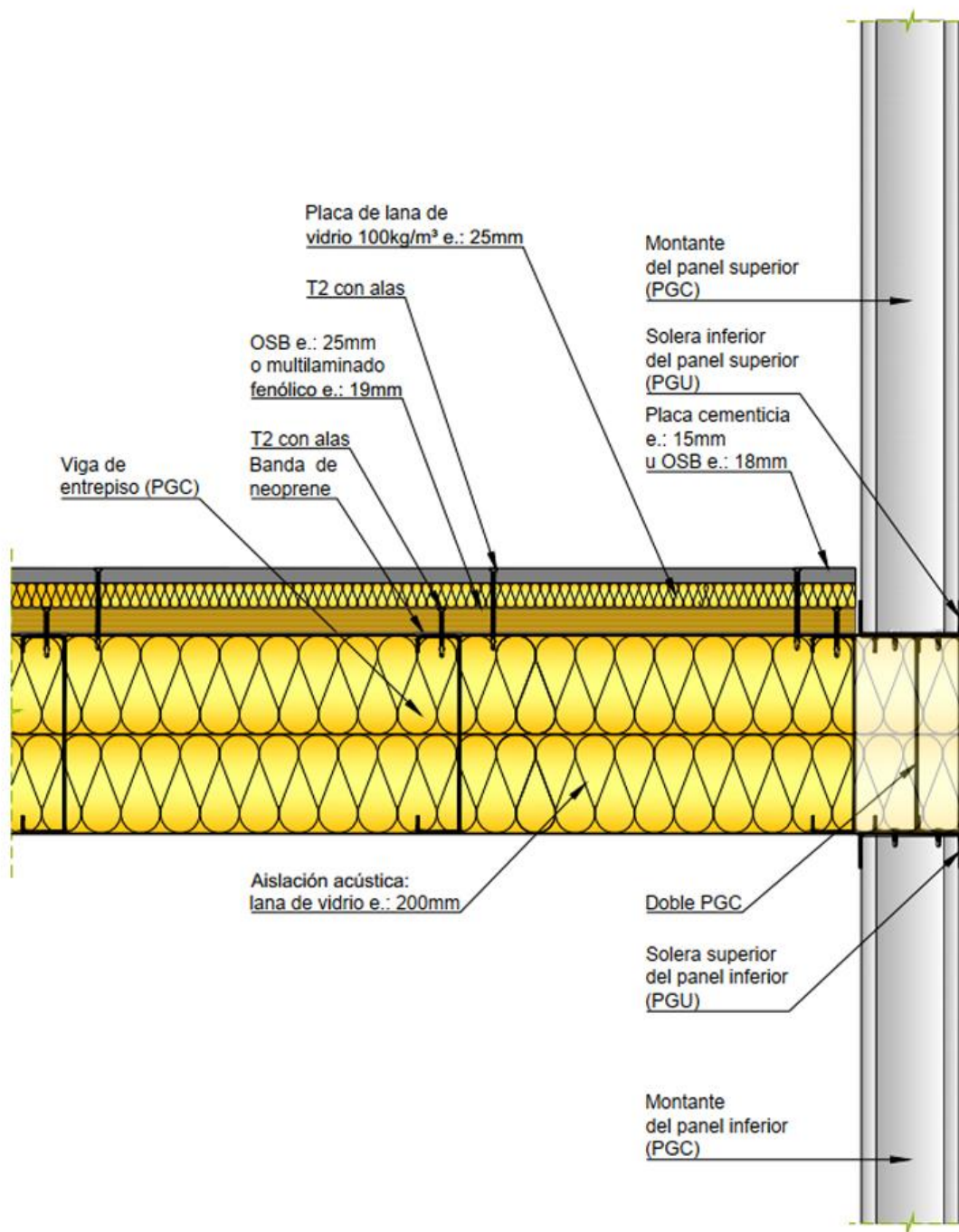


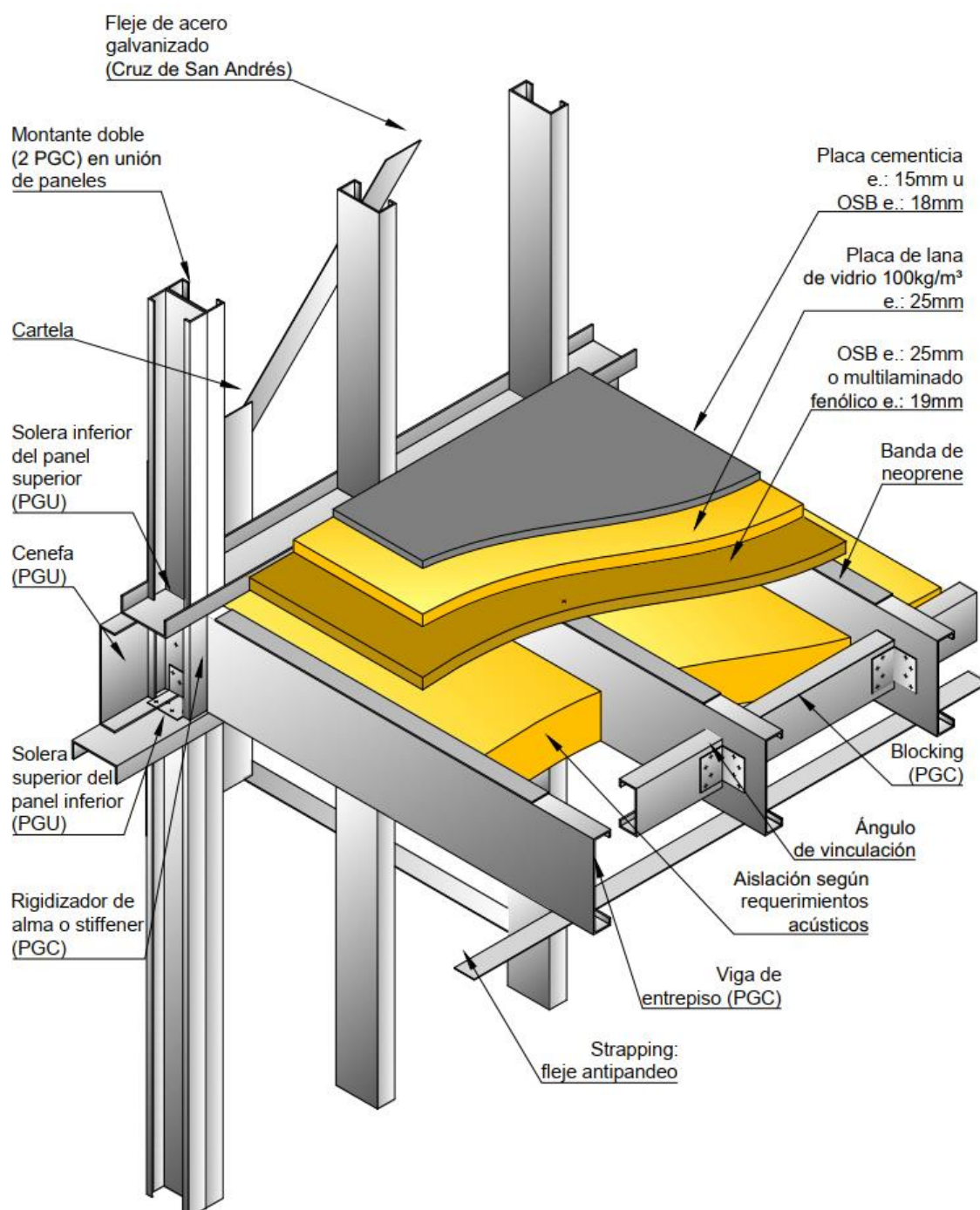


6. Entre Pisos

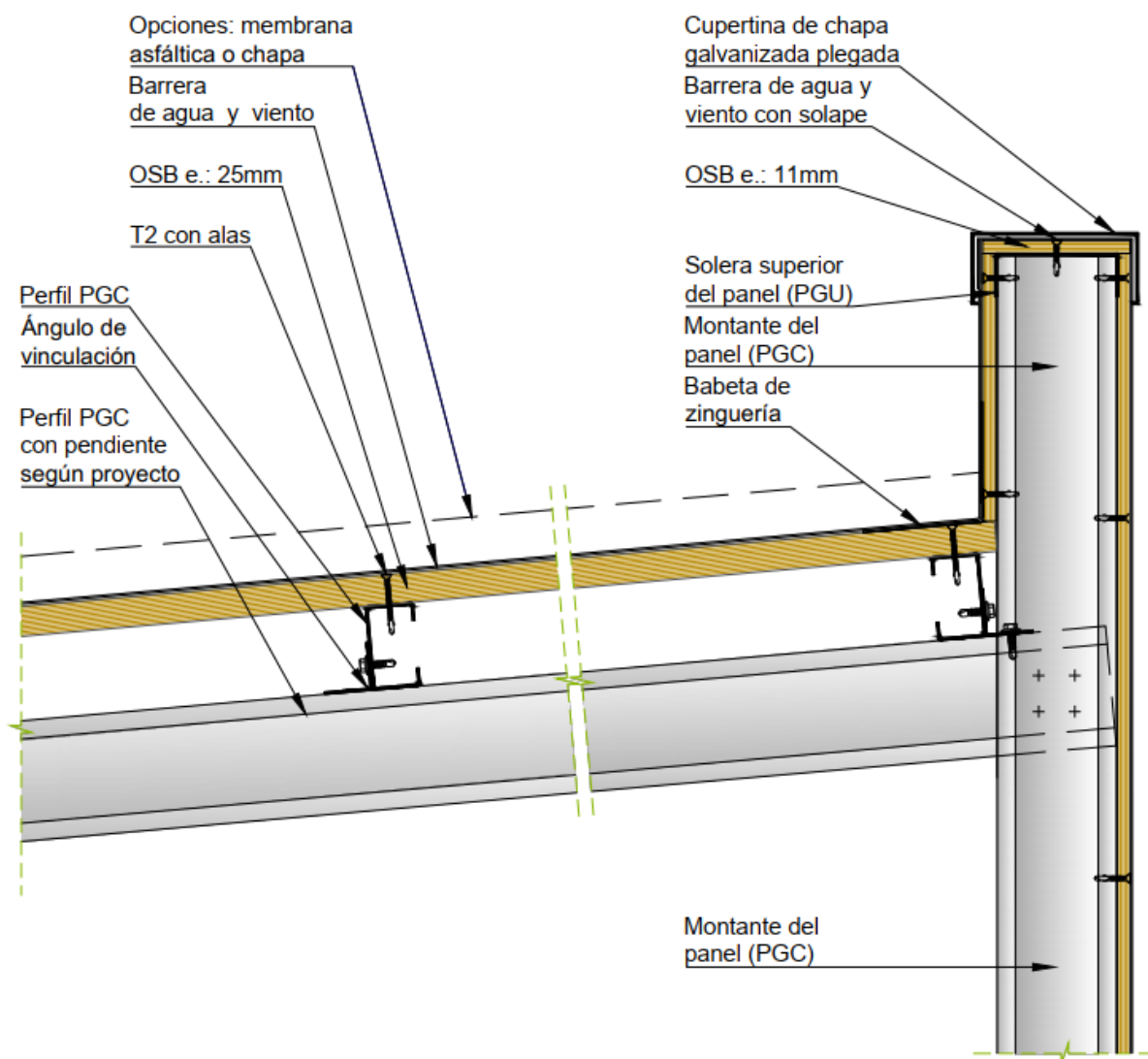


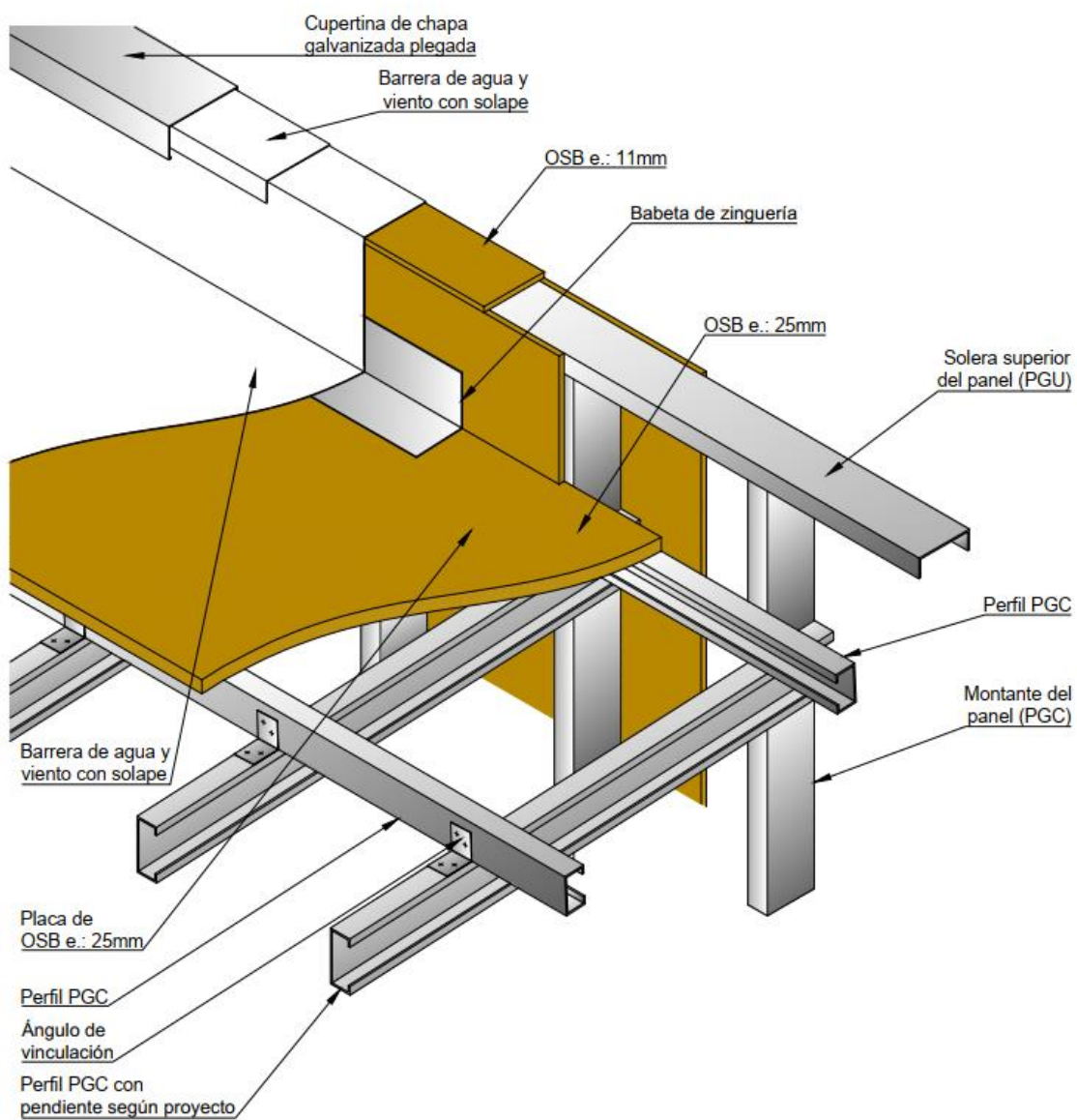
Camadas
1 - Placa de gesso cartonado: 1.5 cm
2 - Lã de rocha (MW): 2.5 cm
3 - OSB multilaminado: 2.5 cm
4 - Neopreno (policloropreno): 0.1 cm
5 - Lã de rocha (MW) + LSF: 15 cm
6 - Painéis de lamelas longas (OSB): 1.4 cm
Espessura total: 23.0 cm
Caracterização térmica
Laje superior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.20 W/(m².°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m².°C)
Laje inferior
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.20 W/(m².°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m².°C)
Laje inferior exposta à intempérie
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.21 W/(m².°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.20 W/(m².°C)
Capacidade térmica: 25446.43 J/m².°C

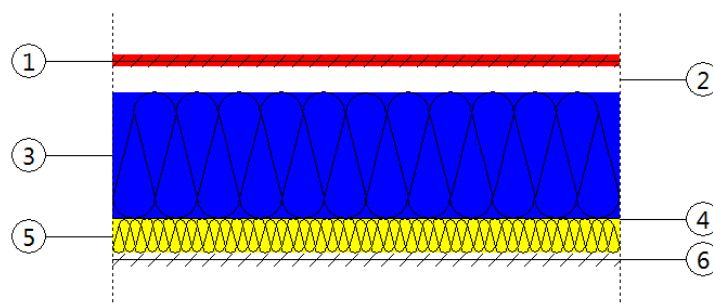




7. Coberturas







Camadas
1 - Telha de Argila Cozida: 1.4 cm
2 - Câmara de Ar: 3 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) + LSF: 15 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 0.1 cm
5 - Poliestireno expandido (EPS): 4 cm
6 - Placa de gesso cartonado: 1.5 cm
Espessura total: 25.0 cm
Caracterização térmica
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.18 W/(m ² .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.18 W/(m ² .°C)
Capacidade térmica: 24403.34 J/m ² .°C

8. Materias para o desempenho energético dos edifícios

O aço pode ser usado para fornecer uma construção mais sustentável na concepção industrial, execução com mão de obras qualificadas, no uso, com isolamentos e nos estágios de desconstrução, na reutilização do aço. As principais questões de desenvolvimento na fase de construção, ou desconstrução, são para minimizar o impacto na comunidade local e reduzir o desperdício. Os impactos locais incluem elementos como ruído, poeira, poluição e congestionamento do tráfego. Uma das maneiras mais eficazes de redução desses impactos é maximizar a pré-fabricação externa (com logísticas amparadas pela metodologia BIM), o que não só minimiza a atividade no local, mas também pode fornecer uma construção eficiente, segura, de alta qualidade e agilidade (Bassam e Sansom, 2006).

Neste panorama ambiental e econômico, temos que várias alternativas à estrutura tradicional de concreto armado e edifícios de parede de tijolo têm emergido, incluindo os edifícios com estrutura de aço leve, principalmente em edifícios residenciais, tornando este tipo de construção mais atraente e popular (Paulo, 2017).

9. Conclusão

A Diretiva 2010/31/EU relativa ao desempenho energético dos edifícios, determina: “Os Estados-Membros devem assegurar orientação e treinamento para os responsáveis pela aplicação desta Diretiva”. Assim, a eficiência energética constitui um instrumento para vencer estes desafios: aumentando a segurança do aprovisionamento energético da União; reduzindo o consumo de energia primária e diminuindo as importações de energia; ajudando a reduzir as emissões de gases com efeito estufa de forma eficaz em termos de custos; e contribuindo assim para atenuar as alterações climáticas.

A evolução para uma economia mais eficiente do ponto de vista energético deverá também acelerar a difusão de soluções tecnologicamente inovadoras e melhorar a competitividade da indústria da União Europeia, impulsionando o crescimento econômico e a criação de postos de trabalho de alta qualidade em diversos setores ligados à eficiência energética (Diretiva 2012/27/UE).

Associando a utilização da metodologia BIM 6D e a construção 4.0 ao índice de eficiência OEE, temos as características no sistema LSF com:

- A velocidade de construção;
- Menor perturbação do local de construção;
- Alta flexibilidade arquitetônica;
- O grande potencial para fins de *retrofit*;
- A construção 'seca', reduzindo o risco de patologias relacionadas à umidade;
- A alta resistência mecânica;
- A qualidade superior e precisão, formam o controle de alta qualidade da fábrica;
- Pelos perfis de aço não serem atividades biológica sensível;
- A economia no transporte e montagem;
- A fácil pré-fabricação e produção em massa;
- A redução da produção de resíduos durante a fase de construção;
- E com o grande potencial de reciclagem e reutilização (Eduardo e Paulo, 2017).

Outro fator importante é sua ação contra sismos, pois os padrões para projeto sísmico de estruturas CFS são limitados apenas ao sistema de resistência à força, que não são apropriados para construções de altura mediana, devido à sua baixa resistência ao cisalhamento. No entanto, sistemas CFS híbridos inovadores foram recentemente propostos e desenvolvidos na indústria do aço leve para construção de edificações de médio porte, apresentando resultados que indicam que os painéis híbridos são bem apropriados para edifícios leves modulares em regiões sísmicas (Usefi e Ronagh, 2020).

Anexo VII



CENTRUM STAVEBNÍHO INŽENÝRSTVÍ a.s.
(Building Engineering Centre, joint-stock company)
Workplace in ZLÍN, K Cihelně 304, 764 32 ZLÍN - Louky

issued to

Applicant: DRUTEX S.A.
Ul. Leborska 31, 77-100 Bytów, Poland

CERTIFICATE

of the product characteristic

No. CV – 13 – 764/Z

Product: IGLO ENERGY Classic PVC Tilt and Turn window

Manufacturer: See Applicant

Description:

Frame and sash	Frame 70001, reinforcement 250030; sash 70013, reinforcement 250026; in the window with insulating glass unit $U_g = 0,3 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ was used fibre-glass reinforcement
Other profiles	glazing bead 70948 with extruded gasket
Glazing	Insulating triple glass unit 48 mm: 4 mm Thermofoat / 18 mm steel spacer or Swisspacer „V“, argon / 4 mm Float / 18 mm steel spacer or Swisspacer „V“, argon / 4 mm Thermofoat; declared value $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
	Insulating four glass unit 48 mm: PLANILUX 3 mm/PLANITHERM ULTRA N – Swisspacer „V“ 12 mm, krypton – PLANILUX 3 mm – Swisspacer „V“ 12 mm, krypton – PLANILUX 3 mm/PLANITHERM ULTRA N – Swisspacer „V“ 12 mm, krypton – PLANILUX 3 mm/PLANITHERM ULTRA N; declared value $U_g = 0,3 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
Sealing	Outer gasket: U-001; inner gasket: U-002; outer gasket of the glazing: U-001; central gasket: U-007
Hardware	All-Peripheral hardware MACO MULTI-MATIC, 9-point closure, safety-catch, 2x hung and tilt hinges, handle

Result:

Title of tested parameter	Testing method	Result
Součinitel prostupu tepla U_{st} - with steel spacer, $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ - with Swisspacer „V“, $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ - with Swisspacer „V“, $U_g = 0,3 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	ČSN EN ISO 12567-1	0,87 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 0,81 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 0,59 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

This Certificate proves the conformity of above given product properties with the required standard values:

- The first and the second result $U_{st} = U_w = 0,87$ and $0,81 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ fulfils the standard ČSN 73 0540, part 2 for recommended thermal transmittance:
 $U_w \leq U_{rec,20} = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
- The third result $U_{st} = U_w = 0,59 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ fulfils the standard ČSN 73 0540, part 2 for recommended thermal transmittance for passive buildings:
 $U_w \leq U_{pas,20} = (0,80 \text{ až } 0,60) \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Background documents: Test report No. 288/13. CSI, a.s. Zlín, AO 212

This Certificate applies only for a product which its specification is given in the test report in detail. It certifies only above given properties and neither implies nor substitutes certification in accordance with the Law No. 22/1997 Coll. on technical requirements for products.

Issue date: **6.11.2013**
Valid till: **6.11.2015**
Elaborated by: Ing. Nizar Al-Hajjar



Ing. Zbislav Panovec, CSc.
Workplace head

Terrace systems » Tilt and slide PSK » IGLO ENERGY PSK



Tilt and slide balcony doors Iglo Energy

Perfect solution, that ensures big access to daylight both in small and big rooms, maintaining great thermal insulation at the same time.

Features

1. Great solution for small rooms. It does not take up usable space while opening.
2. Big glazing surface ensures more daylight in the room.
3. Energy efficiency, thanks to the optimal structure of the profile, specially designed EPDM sealing system and glass packages with low thermal transmittance coefficients.
4. Modern design, ensured by the slim and round-shaped profiles.
5. High safety level guaranteed by four anti-burglary bolts in standard.
6. Wide range of colour range, that enables numerous interior design styles.
7. Very good parameters of sound insulation ensure acoustic comfort even in places with intense traffic.
8. Great parameters of air permeability and water resistance as a result of triple sealing.
9. Thanks to optimal reinforcement the system offers great resistance to the wind load.
10. The possibility to execute in the so-called thin welding technology (V-Perfect), that allows to connect the profiles perfectly and it guarantees better clamp and welding control, and, as a result, very good parameters in the resistance tests of the corners (Iglo Energy Classic).

Technical data

Sound insulation $R_w = 35-46$ dB

Fittings Maco Multi Matic KS fittings. There is a possibility to apply automatic fittings, that support tilt closing. Four anti-burglary bolts.

Gaskets The doors are equipped with the system of triple sealing: external, internal, made of EPDM, and central, made of foamed EPDM. External and internal gaskets are available in black and grey colours.

Profile 7-chamber frame and sash profiles are made exclusively of a prime material in A-class with installation depth of 82 mm.

Reinforcement Frame reinforcement – full steel (closed). In the full reinforcement, anti-burglary bolts are screwed to the steel. C-shaped reinforcement beam in the sash.

Glass Glass package of 4/18/4/18/4 with thermal transmittance $U_g = 0,5$ W/(m²K) in standard. The possibility to apply four-glass package filled with krypton and $U_g = 0,3$ W/(m²K); maximal glazing thickness up to 48 mm. The possibility to apply the glasses with enhanced sound insulation, tempered, safety, anti-burglary, ornament, or solar protective.

Colour range The system is available in Renolit foil colours on white or brown core.

Spacer frame Steel galvanized spacer frame in standard. Optionally Swisspacer Ultimate available in various colour options.

Anexo IX

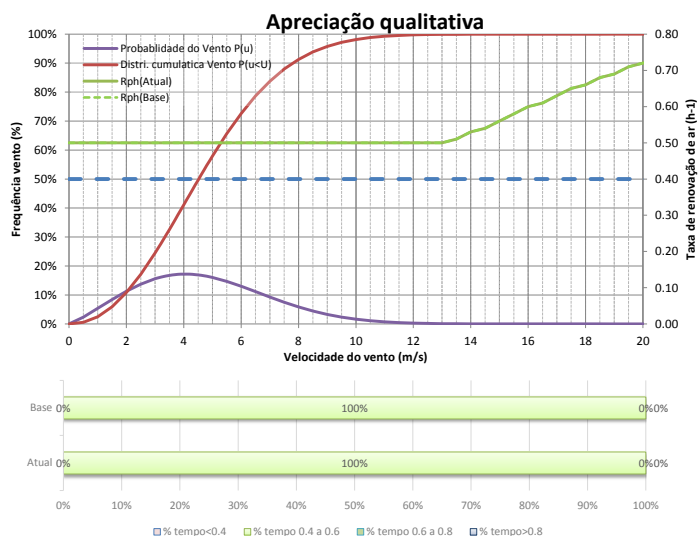
 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnec.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20					
1. Enquadramento do edifício					
Tipo de edifício		Habitação_novo_ou_grande_reabilitação		Área útil (m²): 64.0	
Local (município)		Alcútem		Pd (m): 2.52	
Região		A		N.º de pisos da fração: 1	
Rugosidade		III		Velocidade vento: Defeito REH	
Altitude do local (m)		30		Vento (u10REH: 5.5) (m/s):	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)		1		Vol (m³): 161	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?		Não		Texterior (°C): 12.0	
Altura do edifício (H _{edif}) em m		3.75		Zref (m): 145	
Altura da fração (H _{fra}) em m		3.75		Aenv/Au: 51%	
				Proteção do edifício: Desprotegido	
				Zona da fachada: Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente					
Foi medido valor n50		Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:					
Área dos vãos (m²)		7.5		5	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)		4		Sem classificação	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Perm. Baixa		Perm. Baixa	
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Não			
Tipo de abertura					
Área livre das aberturas fixas (cm²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m³/h)					
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta					
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)		Não		Não	
Escoamento de ar					
Perda de carga					
Altura da conduta (m)					
Cobertura					
Número de condutas semelhantes					
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Sim			
Escoamento de ar		Exaustão		Exaustão	
Caudal nominal (m³/h)		80.64		0	
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento		Não		Não	
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)					
Existem meios híbridos					
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m³/h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
7. Verão - Recuperador de calor					
8. Resultados					
8.1 - Balanço de Energia - Edifício					
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento		0.50		ok	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento		0.60			
W _{vm} (kWh)		211.9			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência					
R _{ph,i REF} (h-1)		0.50			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação					
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)		0.50			
Requisito mínimo de ventilação (h-1)		0.40			
Critério R _{ph} mínimo		Satisfatório			
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.					
				Técnico: _____ Data: 25-02-2021	



Informação complementar e destinada a auxiliar na avaliação do funcionamento
da ventilação e na seleção de eventuais grelhas de ventilação (REH)

1 - Apreciação qualitativa do efeito da variação da velocidade do vento na taxa de renovação de ar

(Ajuda)



2 - Recomendações para a permeabilidade ao ar das janelas e da envolvente (n50)

(Ajuda)

Janelas:

Classe de permeabilidade ao ar das janelas recomendada:	2

Permeabilidade ao ar da envolvente:

Valor n50 recomendado para construção usual:	1.20
Valor n50 recomendado para construção de elevado desempenho:	0.50
Valor n50 estimado com base na classe de permeabilidade ao ar das janelas e caixas de estore:	11.77

3 - Estimar características das aberturas de admissão de ar da fachada

(Ajuda)

Indicar caudal mínimo de ar novo pretendido (h-1):	0.50
Dimensionar grelhas com Frinchas?	Não

Caudal nominal das grelhas:	262 m3/h
Grelhas auto-reguláveis a não mais de:	2 Pa

Valores calculados para os diversos tipos de grelhas				
Caudal nominal das grelhas (m3/h)	405 cm2	262 m3/h	363 m3/h	511 m3/h
Caudal nominal das grelhas/Volume da fração (h-1)	405 cm2	1.62 h-1	2.25 h-1	3.17 h-1

Isolamento sonoro: Avaliar para um compartimento, o mais desfavorável e com maior área envidraçada. Ajustar valores nas células a amarelo.

Zona	Sensível	Area da fachada (m2)	7.5
Correcção	Ctr	Area da janela (m2)	2.3
Tipo folhas:	Deslizar	Vol. compartimento (m3)	40.5
Tipo vidro	4-6-4 (30,-1,-3)		
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1		
Grelha de ventilação	Com atenuação aberta (36,-1,-3)		
Tipo de parede	Dupla 11+15 (50dB)		
	A	Rw (Ctr)	
	(m2)	(dB)	
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1	37	Rw vidro 30
Vedação das juntas janela vão (k)	Boa		C -1
Janela (Área (m2)/Rw(Ctr)	2.3	26	Ctr -3
Parede (Área (m2)/Rw(Ctr)	5.3	50	IGU Rw+Correcção 27
Fachada (Área (m2)/Rw(Ctr)	7.5	30	Janela Rw+Correcção 26
Fachada D2m,nT,W (dB)		28	
Resultados: isolamento sonoro			
Isolamento fachada (D2m,nT,W)	28		
Isolamento mínimo requerido (D2m,nT,W)	28	Satisfatório	

Síntese:

Grelhas auto-reguláveis a 2 Pa com caudal nominal total de 262 (m3/h). As grelhas devem ser 'uniformemente' distribuídas pelas diferentes fachadas. As grelhas devem ter um isolamento sonoro (Dnei) não inferior a 36 (-1,-3) dB.

Anexo X - (REH) Ficha de Cálculo

Ficha nº1

REH - Fichas de cálculo

FICHA n.º 1
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Câmara Municipal de _____

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de frações: 1

Morada: _____

Freguesia: _____ Concelho: _____

Tipo de intervenção

Edifício novo: ☒ X

Grande intervenção: _____

Caracterização

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Zona comum	61.58	2.52	T1

Resumo de cálculo

Fração	Tx. ren. (RPH,i)	Tx. ren. (RPH,v)	Nic (kWh/m ² .ano)	Ni (kWh/m ² .ano)	Nvc (kWh/m ² .ano)	Nv (kWh/m ² .ano)	QA (kWh/ano)	QA _{ref} (kWh/ano)	Ntc (kWh _{tep} /m ² .ano)	Nt (kWh _{tep} /m ² .ano)	Eren,p (*) (kWh/ano)	Eren,ext (**) (kWh/ano)
Zona comum	0.50	0.60	13.99	36.54	13.06	19.04	1069.64	1188.49	76.65	187.21	1060.00	0.00

(*) Correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) Correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em $E_{ren,p}$.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: _____

Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Número de inscrição: _____

Assinatura

REH - Fichas de cálculo
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Ficha de cálculo A
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m ²	U W/m ² ·°C	U·A W/°C
E-PD1-1	52.30	0.21	10.99
TOTAL			10.99
Vãos envidraçados exteriores	Área A m ²	U W/m ² ·°C	U·A W/°C
E-VE1-L1	12.60	0.60	7.56
E-VE1-S1	10.50	0.60	6.30
E-VE1-O1	4.20	0.60	2.52
TOTAL			16.38
Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m·°C	ψ·B W/°C
Fachada com caixilharia	42.80	0.50	21.40
Fachada com pavimentos térreos	31.78	0.12	3.81
Duas paredes verticais em ângulo saliente	7.56	0.00	0.00
Fachada com pavimento de nível intermédio	26.55	0.02	0.53
Duas paredes verticais em ângulo saliente	5.01	0.04	0.20
Fachada com pavimento de nível intermédio	5.00	0.40	2.00
TOTAL			27.94

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior $H_{ext,i}$ 55.31 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior $H_{ext,v}$ 55.31 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m ²	U W/m ² ·°C	b _{tr}	U·A·b _{tr} W/°C
I-PV1-1	61.26	0.49	0.59	17.71
I-PV2-1	61.26	0.20	0.74	9.06
TOTAL				26.77

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 26.77 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{enu} 26.77 W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext,i}$ 55.31 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 26.77 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 0.00 W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$ 82.08 W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext,v}$ 55.31 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} 26.77 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 0.00 W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,v}$ 82.08 W/°C

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m ²	U W/m ² ·°C	U·A W/°C
E-PD1-1	67.31 ⁽¹⁾	0.50	33.68
TOTAL			33.68

⁽¹⁾ Área da envolvente opaca exterior incrementada. Soma-se a parcela excedente de área relativa à área de vãos que supera 20% da área útil de pavimento.

Vãos envidraçados exteriores	Área A m ²	U W/m ² ·°C	U·A W/°C
E-VE1-L1	5.68 ⁽¹⁾	2.80	15.90
E-VE1-S1	4.74 ⁽¹⁾	2.80	13.27
E-VE1-O1	1.89 ⁽¹⁾	2.80	5.29
TOTAL			34.46

⁽¹⁾ Área total de vãos limitada a 20% da área útil de pavimento.

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m·°C	ψ·B W/°C
Fachada com caixilharia	42.80	0.20	8.56
Fachada com pavimentos térreos	31.78	0.50	15.91
Duas paredes verticais em ângulo saliente	7.56	0.40	3.03
Fachada com pavimento de nível intermédio	26.55	0.50	13.30
Duas paredes verticais em ângulo saliente	5.01	0.40	2.01
Fachada com pavimento de nível intermédio	5.00	0.50	2.50
TOTAL			45.31

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 113.45 W/°C

A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m ²	U W/m ² ·°C	b_{tr}	U·A· b_{tr} W/°C
I-PV1-1	61.26	0.60	0.59	21.68
I-PV2-1	61.26	0.40	0.74	18.14
TOTAL				39.82

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 39.82 W/°C

A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} 113.45 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 39.82 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 0.00 W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$ 153.27 W/°C

Ficha de cálculo B
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} = \frac{0,34 \times 0,50}{61,58 \times 2,52} \text{ h}^{-1} \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p = 61,58 \text{ m}^2 \\
 & \text{Pé direito médio da fração } P_d = 2,52 \text{ m} \\
 & \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} = 26,38 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,v} = \frac{0,34 \times 0,60}{61,58 \times 2,52} \text{ h}^{-1} \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p = 61,58 \text{ m}^2 \\
 & \text{Pé direito médio da fração } P_d = 2,52 \text{ m} \\
 & \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} = 31,66 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i \text{ REF}} = \frac{0,34 \times 0,50}{61,58 \times 2,52} \text{ h}^{-1} \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p = 61,58 \text{ m}^2 \\
 & \text{Pé direito médio da fração } P_d = 2,52 \text{ m} \\
 & \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i \text{ REF}} = 26,38 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Ficha de cálculo C
GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno g_i	Área A_w (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,i} = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Fração envidraçada F_g	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s = A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m ²)	Fator de orientação X	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m ²)
E-VE1-L1	E	0.18	6.30	0.73	0.65	0.90	0.54	0.56	0.30
E-VE1-L1	N	0.18	6.30	1.00	0.65	0.90	0.74	0.27	0.20
E-VE1-S1	S	0.18	10.50	0.32	0.65	0.90	0.40	1.00	0.40
E-VE1-O1	W	0.18	4.20	0.71	0.65	0.90	0.35	0.56	0.20
TOTAL									1.10

$$\begin{aligned}
 &\text{Área efetiva total equivalente na orientação a sul } 1.10 \text{ m}^2 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a sul } G_{\text{sol}} 155.00 \text{ kWh/m}^2.\text{mês} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração de aquecimento } M 4.80 \text{ meses} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} 818.40 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 &0,72 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} 4.00 \text{ W/m}^2 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração de aquecimento } M 4.80 \text{ meses} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p 61.58 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_i 851.28 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} 851.28 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} 818.40 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} 1669.68 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i \text{ REF}} 851.28 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i \text{ REF}} 1003.36 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i \text{ REF}} 1854.64 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

Ficha de cálculo D GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Tipo de vidro	Fração envidraçada F _g	Fator de sel. angular F _{w,v}	Fator solar de verão g _v = F _{mv} · g _T + (1 - F _{mv}) · g _{TP}	Área efetiva A _s = A _w · F _g · g _v (m ²)	Fator de obstrução F _{s,v} = F _h · F _o · F _f	Intensidade da radiação I _{sol} kWh/m ² .ano	Q _{sol} = I _{sol} · F _{s,v} · A _s kWh/ano
E-VE1-L1	E	6.30	Duplo	0.65	0.85	0.07	0.30	0.84	515.00	129.78
E-VE1-L1	N	6.30	Duplo	0.65	0.80	0.16	0.66	0.99	225.00	147.02
E-VE1-S1	S	10.50	Duplo	0.65	0.75	0.15	1.02	0.41	405.00	169.37
E-VE1-O1	W	4.20	Duplo	0.65	0.85	0.07	0.20	0.82	515.00	84.46
TOTAL										530.63

Referência	Orientação	Coeficiente de absorção α	Área A_{op} (m ²)	U (kcal/(h·m ² ·°C))	R_{se} (m ² ·h·°C/kcal)	Área efetiva $A_s = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$Q_{sol} = I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano (kcal)
E-PD1-1	N	0.50	13.83	0.21	0.04	0.06	1.00	225.00	13.50
E-PD1-1	E	0.50	13.41	0.21	0.04	0.06	1.00	515.00	30.90
E-PD1-1	W	0.50	15.93	0.21	0.04	0.06	1.00	515.00	30.90
E-PD1-1	S	0.50	4.00	0.21	0.04	0.02	0.89	405.00	7.21
E-PD1-1	S	0.50	2.12	0.21	0.04	0.01	0.58	405.00	2.35
E-PD1-1	S	0.50	2.99	0.21	0.04	0.01	0.95	405.00	3.85
TOTAL									88.71

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada 530.63 kWh/ano

+

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca 88.71 kWh/ano

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ 619.34 kWh/ano

D.2 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios q_{int} 4.00 W/m²

x

Duração de arrefecimento L_v 2928.00 Horas

x

Área útil de pavimento A_p 61.58 m²

÷

1000

=

Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ 721.22 kWh/ano

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ 721.22 kWh/ano

+

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ 619.34 kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ 1340.56 kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos médios q_{int} 4.00 W/m²

x

Duração de arrefecimento L_v 2928.00 Horas

÷

1000

+

Fator solar de verão de referência $g_{v, REF}$ 0.43

x

$A_w/A_{p, REF}$ 0.20

x

Radiação solar média de referência $I_{sol, REF}$ 515.00 kWh/m².ano

=

56.00 kWh/m².ano

$$\begin{aligned} & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \begin{array}{c} \times \\ 61.58 \end{array} \text{ m}^2 \\ & = \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v \text{ REF}} \quad \begin{array}{c} \times \\ 3448.59 \end{array} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Ficha de cálculo E
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad \begin{array}{c} 780.00 \\ \times \end{array} \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr} \quad \begin{array}{c} 82.08 \\ \times \end{array} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad \begin{array}{c} 1536.54 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad \begin{array}{c} 780.00 \\ \times \end{array} \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,i} \quad \begin{array}{c} 26.38 \\ \times \end{array} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad \begin{array}{c} 493.83 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Inércia térmica da fração} \quad \begin{array}{c} \text{Frac} \end{array} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad \begin{array}{c} 1669.68 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} \quad \begin{array}{c} 2030.37 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ & \text{Parâmetro } \gamma_i \quad \begin{array}{c} 0.82 \end{array} \\ & \text{Parâmetro } a_i \quad \begin{array}{c} 1.80 \end{array} \\ & \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_i \quad \begin{array}{c} 0.70 \\ \times \end{array} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad \begin{array}{c} 1669.68 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ & \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad \begin{array}{c} 1168.78 \\ \times \end{array} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad \begin{array}{c} 1536.54 \\ + \end{array} \text{ kWh/ano} \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad \begin{array}{c} 493.83 \\ - \end{array} \text{ kWh/ano} \\ & \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad \begin{array}{c} 1168.78 \\ = \end{array} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Necessidades anuais na estação de aquecimento 861.59 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 61.58 m²

=

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic} 13.99 kWh/m².ano

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr, REF}$ 153.27 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve, I, REF}$ 26.38 W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor $H_{t, I, REF}$ 179.65 W/°C

E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

0,024

x

Número de graus-dias de aquecimento GD 780.00 °C.dias

x

Coeficiente de transferência de calor $H_{tr, REF}$ 153.27 W/°C

=

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr, I, REF}$ 2869.21 kWh/ano

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

0,024

x

Número de graus-dias de aquecimento GD 780.00 °C.dias

x

Coeficiente de transferência de calor $H_{ve, I, REF}$ 26.38 W/°C

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve, I, REF}$ 493.83 kWh/ano

E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Fator de utilização de ganhos $\eta_{i, REF}$ 0.60

x

Ganhos térmicos brutos $Q_{g, I, REF}$ 1854.64 kWh/ano

=

Ganhos totais úteis $Q_{gu, I, REF}$ 1112.78 kWh/ano

E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr, I, REF}$ 2869.21 kWh/ano

+

Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve, I, REF}$ 493.83 kWh/ano

-

Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu, I, REF}$ 1112.78 kWh/ano

=

Necessidades anuais na estação de aquecimento 2250.26 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 61.58 m²

=

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i kWh/m².ano

Ficha de cálculo F
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor $H_{t,v}$ W/°C

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

x

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$ °C

x

Duração de arrefecimento L_v Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$ kWh/ano

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ W/°C

x

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$ °C

x

Duração de arrefecimento L_v Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$ kWh/ano

F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia térmica da fração

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$ kWh/ano

=

Parâmetro γ_v

Parâmetro a_v

Fator de utilização de ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc} kWh/m².ano

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & , \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & , 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & , 0 \leq \Delta\theta \end{cases}$$

$\theta_{REF,v}$ °C

-

$\theta_{ext,v}$ °C

=

$\Delta\theta$ °C

Fator de utilização de ganhos $\eta_{v REF}$

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v REF})$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v REF}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_v kWh/m².ano

Ficha de cálculo G NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_{uc} kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência nominal $\eta_{i,K}$	Fator de conversão f_{conv} kWh _{el} /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_{i,K}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot f_{conv} / \eta_{i,K}$ kWh _{el} /m ² .ano
Multi-Split (ar-ar) - Aquecimento	Electricidade	13.99	1.00	1.00	2.50	861.59	34.98
TOTAL							34.98

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_{uc} kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência nominal $\eta_{i,K}$	Fator de conversão f_{conv} kWh _{el} /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_{i,K}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot f_{conv} / \eta_{i,K}$ kWh _{el} /m ² .ano
Multi-Split (ar-ar) - Arrefecimento	Electricidade	13.06	1.00	1.00	2.50	804.23	32.65
TOTAL							32.65

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

40
x
nº convencional de ocupantes de cada fração n ocupantes
x
fator de eficiência hídrica n
=
consumo médio diário de referência M_{AQS} l

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

consumo médio diário de referência M_{AQS} l

x

4187

x

aumento de temperatura ΔT °C

x

nº de dias de consumo dias

÷

3600000

$$A_p = 61.58 \text{ m}^2$$

$$\text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS} = 17.37 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil Q_u/A_p kWh/m ² .ano	f_a	Eficiência nominal η_K	Fator de conversão $F_{p=0}$ kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_a \cdot \delta Q_u / A_p \cdot \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta Q_u / A_p \cdot F_{p=0} / \eta_K$ kWh _{EP} /m ² .ano
AQS Solar Térmica - Bomba de Calor	Electricidade	17.37	0.01	1.00	2.50	10.70	0.43
	Solar		0.99	1.00	1.00	1060.00	17.20
	TOTAL						17.63

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Referência	W_{vm}/A_p kWh/m ² ·ano	Fator de conversão F_{pu} kWh _{EP} /kWh	Energia primária $(W_{vm}/A_p) \cdot F_{pu}$ kWh _{EP} /m ² ·ano
Ventilação mecânica	3.44	2.50	8.60
TOTAL			8.60

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Sistema com recurso a energia renovável	Produção de energia	E_{ren}/A_p kWh/m ² ·ano	Fator de conversão F_{pu} kWh _{EP} /kWh	Energia primária $(E_{ren}/A_p) \cdot F_{pu}$ kWh _{EP} /m ² ·ano
Solar	Solar	17.21	1.00	17.21
TOTAL				17.21

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\text{Energia primária para aquecimento} = 34.98 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária para arrefecimento} = 32.65 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária para a preparação de AQS} = 17.63 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica} = 8.60 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

-

$$\text{Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável} = 17.21 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

=

$$\text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_{tc} = 76.65 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_u kWh/m ² ·ano	f_a	Eficiência nominal η_K	Fator de conversão F_{pu} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_a \cdot \delta N_u / \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta N_u \cdot F_{pu} / \eta_K$ kWh _{EP} /m ² ·ano
Multi-Split (ar-ar) - Aquecimento	Electricidade	36.54	1.00	1.00	2.50	2250.26	91.36
TOTAL							91.36

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_u kWh/m ² ·ano	f_a	Eficiência nominal η_K	Fator de conversão F_{pu} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_a \cdot \delta N_u / \eta_K$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta N_u \cdot F_{pu} / \eta_K$ kWh _{EP} /m ² ·ano
Multi-Split (ar-ar) - Arrefecimento	Electricidade	19.04	1.00	1.00	2.50	1172.48	47.60
TOTAL							47.60

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

[illegible]

Energia primária para aquecimento	91.36	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	47.60	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	48.25	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Minerais anuais globais de energia primária N _i	187.21	kWh _{EP} /m ² .ano

CARGO	Projetista
NOME	

Anexo XI - (REH) Resumo de desempenho energético

Resumo de desempenho energético

ÍNDICE

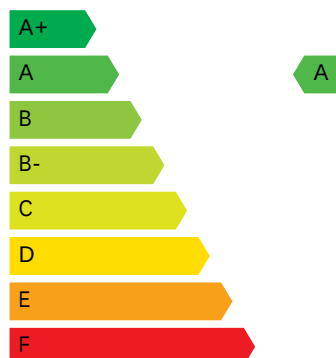
1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	3
2. EMISSÃO DE CO ₂	3
3. REQUISITOS ENERGÉTICOS.....	3
4. DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS.....	3
4.1. Coeficientes de transmissão térmica.....	3
4.1.1. Paredes.....	3
4.1.2. Coberturas.....	4
4.1.3. Pavimentos.....	4
4.1.4. Pontes térmicas planas.....	4
4.1.5. Pontes térmicas lineares.....	4
4.1.6. Portas.....	6
5. ENVIDRAÇADOS.....	6
6. CLIMATIZAÇÃO E AQS.....	7
7. ENERGIA RENOVÁVEL.....	7
8. VENTILAÇÃO.....	7

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

R = 0.41

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	R = Ntc / Nt
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

2. EMISSÃO DE CO2

As emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes são de 0.6798 toneladas de CO2 equivalentes por ano.

3. REQUISITOS ENERGÉTICOS

Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m².ano)	Valor limite (kWh/m².ano)
Aquecimento	13.99	36.54
Arrefecimento	13.06	19.04
Preparação das águas quentes sanitárias	17.37	19.30
Energia	76.65	187.21

4. DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS

4.1. Coeficientes de transmissão térmica

O REH estabelece, para a envolvente interior e exterior, valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U). Os valores definidos para o coeficiente U dos elementos da envolvente são:

4.1.1. Paredes

Referência: E-PD1-1

Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 21.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Reboco com textura e pintura, com 1.0 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.550 W/(m·°C); 2) Poliamida com 25% de fibra de vidro, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.300 W/(m·°C); 3) Poliestireno expandido (EPS), com 2.4 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.042 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 5) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de

Desempenho energético

0.130 W/(m·°C); 6) Lã de rocha (MW) +LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 7) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 8) Placa de gesso cartonado, com 1.2 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.250 W/(m·°C).

Coeficiente de transmissão térmica: 0.21 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.50 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 0.50 W/(m²·°C)

4.1.2. Coberturas

4.1.3. Pavimentos

Referência: I-PV1-1

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 42.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Piso Terminado, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.800 W/(m·°C); 2) Nivelador, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.550 W/(m·°C); 3) Contra Piso, com 4.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m·°C); 4) Poliestireno expandido (EPS), com 6.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 5) Piso de Fundação com Armadura, com 30.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.850 W/(m·°C).

Coeficiente de transmissão térmica: 0.49 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.60 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.65 W/(m²·°C)

Referência: I-PV2-1

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 23.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placa de gesso cartonado, com 1.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Lã de rocha (MW), com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 3) OSB multilaminado, com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Neopreno (policloropreno), com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 6) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.130 W/(m·°C).

Coeficiente de transmissão térmica: 0.20 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.40 W/(m²·°C)

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 0.40 W/(m²·°C)

4.1.4. Pontes térmicas planas

4.1.5. Pontes térmicas lineares

Referência: Fachada com caixilharia

Laterais inferior da caixilharia com a Fachada

Método: Introduzido

Coeficiente de transmissão térmica: 0.50 W/(m·°C)

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.20 W/(m·°C)

Referência: Fachada com caixilharia

Contato superior da Fachada com caixilharia.

Desempenho energético

Método: Introduzido

Coeficiente de transmissão térmica: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.20 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com caixilharia

Laterais da caixilharia com a Fachada

Método: Introduzido

Coeficiente de transmissão térmica: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.20 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com pavimentos térreos

Fachada com pavimento sobre o exterior ou Fachada com pavimento de nível inferior acima local não aquecido.

Método: ISO 10211

Coeficiente de transmissão térmica: $0.12 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Duas paredes verticais em ângulo saliente

Encontro de fachadas

Método: ISO 10211

Coeficiente de transmissão térmica: $0.00 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.40 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com pavimento de nível intermédio

Fachada com cobertura

Método: ISO 10211

Coeficiente de transmissão térmica: $0.02 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com caixilharia

Contato superior da Fachada com caixilharia

Método: Introduzido

Coeficiente de transmissão térmica: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.20 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Duas paredes verticais em ângulo saliente

Fachada com varanda

Método: Catálogo

Coeficiente de transmissão térmica: $0.04 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.40 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com pavimento de nível intermédio

Fachada com varanda.

Método: Catálogo

Coeficiente de transmissão térmica: $0.40 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Coeficiente de transmissão térmica de referência: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Referência: Fachada com caixilharia

Fachada com caixilharia.

Método: Introduzido

Coeficiente de transmissão térmica: $0.50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$

Desempenho energético

Coeficiente de transmissão térmica de referência: 0.20 W/(m·°C)

4.1.6. Portas

5. ENVIDRAÇADOS

E-VE1-L1:

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m²K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m²K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m²K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

Factor solar (gi): 0.18

Factor solar (gv): 0.07

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.07

E-VE1-L1:

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m²K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m²K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m²K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

Factor solar (gi): 0.18

Factor solar (gv): 0.16

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.16

E-VE1-S1:

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m²K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m²K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m²K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

Factor solar (gi): 0.18

Factor solar (gv): 0.15

Desempenho energético

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.15

E-VE1-O1:

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m ² K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m ² K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m ² K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

Factor solar (gi): 0.18

Factor solar (gv): 0.07

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.07

6. CLIMATIZAÇÃO E AQS

As necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 861.59 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento são de 804.23 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para AQS são de 1069.64 kWh/ano

7. ENERGIA RENOVÁVEL

A contribuição dos sistemas solares de preparação de AQS é de 1060.00 kWh/ano

A contribuição dos sistemas renováveis é de 0.00 kWh/ano

8. VENTILAÇÃO

Valor de taxa de renovação horária (Rph,i): 0.50

Valor de taxa de renovação horária (Rph,v): 0.60

Cálculo dos fatores de obstrução da radiação solar

Despacho nº15793-K/2013

ÍNDICE

1. ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO.....	3
1.1. Fator de obstrução em vãos envidraçados.....	3
2. ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO.....	3
2.1. Fator de obstrução em vãos envidraçados.....	3
2.2. Fator de obstrução em elementos opacos.....	3

Zona comum

1. ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

1.1. Fator de obstrução em vãos envidraçados

Referência	Orientação	Ângulo do horizonte	F_h	Ângulo de obstrução com a horizontal	F_o	Ângulo de obstrução vertical esquerda	Ângulo de obstrução vertical direita	F_f	Fator de obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$
E-VE1-L1	E	20.00	0.84	16.00	0.91	11.00	11.00	0.95	0.73
E-VE1-L1	N	20.00	1.00	16.00	1.00	11.00	11.00	1.00	1.00
E-VE1-S1	S	20.00	0.90	92.00	0.44	38.00	38.00	0.82	0.32
E-VE1-O1	W	20.00	0.84	16.00	0.91	17.00	17.00	0.93	0.71

2. ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

2.1. Fator de obstrução em vãos envidraçados

Referência	Orientação	Ângulo do horizonte	F_h	Ângulo de obstrução com a horizontal	F_o	Ângulo de obstrução vertical esquerda	Ângulo de obstrução vertical direita	F_f	Fator de obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$
E-VE1-L1	E	20.00	1.00	16.00	0.87	11.00	11.00	0.97	0.84
E-VE1-L1	N	20.00	1.00	16.00	0.99	11.00	11.00	1.00	0.99
E-VE1-S1	S	20.00	1.00	92.00	0.52	38.00	38.00	0.79	0.41
E-VE1-O1	W	20.00	1.00	16.00	0.87	17.00	17.00	0.95	0.82

2.2. Fator de obstrução em elementos opacos

Referência	Orientação	Ângulo do horizonte	F_h	Ângulo de obstrução com a horizontal	F_o	Ângulo de obstrução vertical esquerda	Ângulo de obstrução vertical direita	F_f	Fator de obstrução $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$
E-PD1-1	S	55.54	1.00	0.00	1.00	36.57	0.00	0.89	0.89
E-PD1-1	S	0.00	1.00	29.85	0.63	13.26	13.25	0.92	0.58
E-PD1-1	S	0.00	1.00	0.00	1.00	15.04	0.00	0.95	0.95

Anexo XIII - (REH) Capacidade térmica

Inércia Térmica

Despacho nº15793-K/2013

ÍNDICE

1. DADOS GERAIS.....	3
2. RESULTADOS OBTIDOS POR ELEMENTO CONSTRUTIVO.....	3
2.1. Zona comum.....	3
2.1.1. Paredes exteriores ou em contacto com o solo.....	3
2.1.2. Paredes e pavimentos interiores.....	4
3. ZONAS.....	5
3.1. Zona comum.....	5

Capacidade térmica

1. DADOS GERAIS

A classe de inércia térmica do edifício ou fracção determina-se de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento.

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [kg/m^2]$$

em que:

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i , (kg/m^2)

r - Factor de redução da massa superficial útil,

S_i - Área da superfície interior do elemento i , (m^2)

A_p - Área interior útil de pavimento, (m^2)

Classes de inércia térmica interior, I_t (kg/m^2)

Fraca $I_t < 150$

Média $150 \leq I_t \leq 400$

Forte $I_t > 400$

Massa superficial útil de elementos de construção

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil de cada elemento de construção, M_{si} , em kg/m^2 é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e do isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial.

Factor de redução da massa superficial

O factor de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa de ar associada, R_{ar} .

2. RESULTADOS OBTIDOS POR ELEMENTO CONSTRUTIVO

2.1. Zona comum

2.1.1. Paredes exteriores ou em contacto com o solo

2.1.1.1. E-PD1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m^3)	Condutibilidade ($W \cdot ^\circ C/m^2$)	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Massa (kg/m^2)
Reboco com textura e pintura	0.010	1200.00	0.55	0.02	12.00
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.001	1450.00	0.30	0.00	1.45
Poliestireno expandido (EPS)	0.024	14.00	0.04	0.57	0.34
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Painéis de lamelas longas (OSB)	0.011	650.00	0.13	0.08	7.15
Lã de rocha (MW) +LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placa de gesso cartonado	0.012	1000.00	0.25	0.05	12.00
				Total	42.64
				M_{si} ($< 150.00 \text{ kg/m}^2$)	13.10
				r	1.00

Capacidade térmica

2.1.2. Paredes e pavimentos interiores

2.1.2.1. I-PD1-2

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placas de yeso armado con fibras minerales 800 < d < 1000	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Argamassa e reboco de cal e areia	0.010	1600.00	0.80	0.01	16.00
Placa de gesso cartonado	0.010	2300.00	1.30	0.01	23.00
Total					73.90
M _{si} (< 300.00 kg/m ²)					13.70
r					1.00

2.1.2.2. I-PD1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Lã de rocha (MW)	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Total					34.90
M _{si} (< 300.00 kg/m ²)					13.70
r					1.00

2.1.2.3. I-PV1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Piso Terminado	0.010	1600.00	0.80	0.01	16.00
Nivelador	0.010	1200.00	0.55	0.02	12.00
Contra Piso	0.040	2400.00	2.00	0.02	96.00
Poliestireno expandido (EPS)	0.060	20.00	0.04	1.43	1.20
Piso de Fundação com Armadura	0.300	1500.00	0.85	0.35	450.00
Total					575.20
M _{si} (< 150.00 kg/m ²)					124.00
r					1.00

Capacidade térmica

2.1.2.4. I-PV2-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.015	1000.00	0.25	0.06	15.00
Lã de rocha (MW)	0.025	50.00	0.04	0.63	1.25
OSB multilaminado	0.025	600.00	0.14	0.18	15.00
Neopreno (policloropreno)	0.001	1240.00	0.23	0.00	1.24
Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Painés de lamelas longas (OSB)	0.014	650.00	0.13	0.11	9.10
Total					49.09
M _{si} (< 150.00 kg/m ²)					32.49
r					1.00

3. ZONAS

3.1. Zona comum

Elemento da construção	M _{si} (kg/m ²)	S _i (m ²)	Factor de correcção (r)	M _{si} ·r·S _i (kg)
Paredes exteriores ou em contacto com o solo				
E-PD1-1	13.10	52.28	1.00	684.83
Paredes e pavimentos interiores				
I-PD1-2	13.70	16.29	1.00	223.16
I-PD1-1	13.70	12.54	1.00	171.79
I-PV1-1	124.00	61.26	1.00	7596.54
I-PV2-1	32.49	61.26	1.00	1990.42
Total				10666.75

/

Área (m²) 61.58

=

Massa superficial útil por m² de área de pavimento 173.22

Classe de Inércia Térmica MÉDIA

A Classe de Inércia Térmica Correta é FRACA

E está descrita na na dissertação
E no Cypetherm REH

Anexo XIV

(REH) Descrição de materiais e elementos construtivos

Descrição de materiais e elementos construtivos

ISO 6946

ISO 10077

ISO 13370

ISO 10456

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE.....	4
1.1. Fachadas.....	4
1.1.1. Parte opaca das fachadas.....	4
1.1.2. Aberturas em fachada.....	4
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO.....	7
2.1. Compartimentação interior horizontal.....	7
3. MATERIAIS.....	9

1. SISTEMA ENVOLVENTE

Descrição de materiais e elementos construtivos

1. SISTEMA ENVOLVENTE

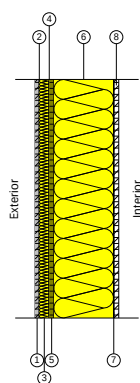
1.1. Fachadas

1.1.1. Parte opaca das fachadas

E-PD1-1

Superfície total 52.28 m²

Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 21.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Reboco com textura e pintura, com 1.0 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.550 W/(m·°C); 2) Poliamida com 25% de fibra de vidro, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.300 W/(m·°C); 3) Poliestireno expandido (EPS), com 2.4 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.042 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 5) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.130 W/(m·°C); 6) Lã de rocha (MW) +LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 7) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 8) Placa de gesso cartonado, com 1.2 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.250 W/(m·°C).



Listagem de camadas:

1 - Reboco com textura e pintura	1 cm
2 - Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1 cm
3 - Poliestireno expandido (EPS)	2.4 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1 cm
5 - Painéis de lamelas longas (OSB)	1.1 cm
6 - Lã de rocha (MW) +LSF	15 cm
7 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1 cm
8 - Placa de gesso cartonado	1.2 cm

Características Transmitância térmica, U: 0.210 W/(m²·°C)

Espessura total 21 cm

1.1.2. Aberturas em fachada

E-VE1-L1

Descrição	Unidade	Valor
Transmitância térmica do vidro (Ug)	m ² K	0.3
Transmitância térmica (Uw)	m ² K	0.6
Transmitância térmica do caixilho (Uf)	m ² K	0.5
Câmaras de Caixa de Ar	Unid.	3 criptônio
Caixilho	Unid.	7 Camadas
Material do Caixilho	-	PVC
Espessura do Caixilho	mm	82
Espessura do vidro	mm	4
Envidraçados	Unid.	4
Cor	-	Média

Características	Transmitância térmica, U: 0.600 W/(m ² ·°C)
	Factor solar, g: 0.200
	Factor de redução, Fr: 0.053
	Fracção opaca, Ff: 0.350

E-VE1-S1

Descrição de materiais e elementos construtivos

Descrição Unidade Valor

Transmitância térmica do vidro (U_g) m^2K 0.3

Transmitância térmica (U_w) m^2K 0.6

Transmitância térmica do caixilho (U_f) m^2K 0.5

Câmaras de Caixa de Ar Unid. 3 criptônio

Caixilho Unid. 7 Camadas

Material do Caixilho - PVC

Espessura do Caixilho mm 82

Espessura do vidro mm 4

Envidraçados Unid. 4

Cor - Média

Características

Transmitância térmica, U : 0.600 W/($m^2 \cdot ^\circ C$)

Factor solar, g : 0.200

Factor de redução, Fr : 1.000

Fracção opaca, Ff : 0.350

E-VE1-O1

Descrição Unidade Valor

Transmitância térmica do vidro (U_g) m^2K 0.3

Transmitância térmica (U_w) m^2K 0.6

Transmitância térmica do caixilho (U_f) m^2K 0.5

Câmaras de Caixa de Ar Unid. 3 criptônio

Caixilho Unid. 7 Camadas

Material do Caixilho - PVC

Espessura do Caixilho mm 82

Espessura do vidro mm 4

Envidraçados Unid. 4

Cor - Média

Características

Transmitância térmica, U : 0.600 W/($m^2 \cdot ^\circ C$)

Factor solar, g : 0.200

Factor de redução, Fr : 0.053

Fracção opaca, Ff : 0.350

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

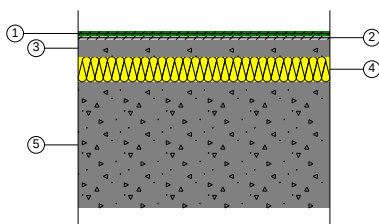
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

2.1. Compartimentação interior horizontal

I-PV1-1

Superfície total 61.26 m²

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 42.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Piso Terminado, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.800 W/(m·°C); 2) Nivelador, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.550 W/(m·°C); 3) Contra Piso, com 4.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m·°C); 4) Poliestireno expandido (EPS), com 6.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 5) Piso de Fundação com Armadura, com 30.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.850 W/(m·°C).



Listagem de camadas:

1 - Piso Terminado	1 cm
2 - Nivelador	1 cm
3 - Contra Piso	4 cm
4 - Poliestireno expandido (EPS)	6 cm
5 - Piso de Fundação com Armadura	30 cm

Características

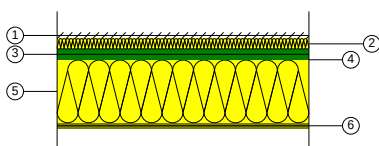
Transmitância térmica, U: 0.492 W/(m²·°C)

Espessura total 42 cm

I-PV2-1

Superfície total 61.26 m²

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 23.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placa de gesso cartonado, com 1.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Lã de rocha (MW), com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 3) OSB multilaminado, com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Neopreno (policloropreno), com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 6) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.130 W/(m·°C).



Listagem de camadas:

1 - Placa de gesso cartonado	1.5 cm
2 - Lã de rocha (MW)	2.5 cm
3 - OSB multilaminado	2.5 cm
4 - Neopreno (policloropreno)	0.1 cm
5 - Lã de rocha (MW) + LSF	15 cm
6 - Painéis de lamelas longas (OSB)	1.4 cm

Características

Transmitância térmica, U: 0.203 W/(m²·°C)

Espessura total 23 cm

3. MATERIAIS

Descrição de materiais e elementos construtivos

3. MATERIAIS

Camadas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Reboco com textura e pintura	1	1200	0.550	0.0182	1000
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1	1450	0.300	0.0033	1000
Poliestireno expandido (EPS)	2.4	14	0.042	0.5714	1000
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	1100	0.230	0.0043	1000
Painés de lamelas longas (OSB)	1.1	650	0.130	0.0846	1000
Lã de rocha (MW) +LSF	15	50	0.040	3.7500	1000
Placa de gesso cartonado	1.2	1000	0.250	0.0480	1000
Piso Terminado	1	1600	0.800	0.0125	1000
Nivelador	1	1200	0.550	0.0182	1000
Contra Piso	4	2400	2.000	0.0200	1000
Poliestireno expandido (EPS)	6	20	0.042	1.4286	1000
Piso de Fundação com Armadura	30	1500	0.850	0.3529	1000
Placa de gesso cartonado	1.5	1000	0.250	0.0600	1000
Lã de rocha (MW)	2.5	50	0.040	0.6250	1000
OSB multilaminado	2.5	600	0.140	0.1786	1000
Neopreno (policloropreno)	0.1	1240	0.230	0.0043	1000
Lã de rocha (MW) + LSF	15	50	0.040	3.7500	1000
Painés de lamelas longas (OSB)	1.4	650	0.130	0.1077	1000
Abreviaturas utilizadas					
e	Espessura cm		RT	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W	
ρ	Densidade kg/m^3		Cp	Calor específico J/($kg \cdot ^\circ C$)	
λ	Condutibilidade térmica W/($m \cdot ^\circ C$)				

Anexo XV - (REH) Descrição das pontes térmicas lineares

Descrição das pontes térmicas lineares

Despacho nº15793-K/2013

EN ISO 14683

EN ISO 10211

ÍNDICE

1. ZONA COMUM.....	3
1.1. Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo.....	3
1.2. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio.....	3
1.3. Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente.....	3
1.4. Ligação de fachada com caixilharia.....	4

Descrição das pontes térmicas lineares

ZONA COMUM

1.1. Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo

Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
I-PV1-1-S-PDE1-0-E-PD1-1 * Fachada com pavimento sobre o exterior ou Fachada com pavimento de nível inferior acima local não aquecido.	31.764	0.120

* Cálculo efectuado conforme a norma

1.2. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio

Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1 * Fachada com cobertura	26.542	0.020
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1 Fachada com varanda.	4.998	0.400

* Cálculo efectuado conforme a norma

1.3. Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente

Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
E-PD1-1-E-PD1-1 * Encontro de fachadas	7.560	0.003
E-PD1-1-E-PD2-1 Fachada com varanda	5.009	0.040

* Cálculo efectuado conforme a norma

Descrição das pontes térmicas lineares

1.4. Ligação de fachada com caixilharia

Ligação de fachada com caixilharia	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
Inf - E-VE1-L1-E-PD1-1 Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	6.000	0.500
Sup - E-VE1-L1-E-PD1-1 Contato superior da Fachada com caixilharia.	6.000	0.500
Lat - E-VE1-L1-E-PD1-1 Laterais da caixilharia com a Fachada	8.400	0.500
Inf - E-VE1-S1-E-PD1-1 Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	5.000	0.500
Sup - E-VE1-S1-E-PD1-1 Contato superior da Fachada com caixilharia	5.000	0.500
Lat - E-VE1-S1-E-PD1-1 Laterais da caixilharia com a Fachada	4.200	0.500
Inf - E-VE1-O1-E-PD1-1 Laterais inferior da caixilharia com a Fachada	2.000	0.500
Sup - E-VE1-O1-E-PD1-1 Fachada com caixilharia.	2.000	0.500
Lat - E-VE1-O1-E-PD1-1 Laterais da caixilharia com a Fachada	4.200	0.500

Anexo XVI - (REH) Verificação de formação de condensações

Verificação de formação de condensações

ISO 13788

ÍNDICE

1. ZONA: ZONA COMUM.....	3
1.1. Paredes exteriores.....	3
1.1.1. E-PD1-1.....	3
1.2. Lajes.....	7
1.2.1. I-PV1-1.....	7
1.2.2. I-PV2-1.....	11

Verificação de formação de condensações

ZONA: ZONA COMUM

1.1. Paredes exteriores

1.1.1. E-PD1-1

1.1.1.1. Resultados do cálculo de condensações

1.1.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.946 \text{ }^3 f_{Rsi,min} = 0.818$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

f_{Rsi} : Factor de resistência superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, em que $U = 0.215 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de $j_{si,cr}$ £ 0.6.

1.1.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

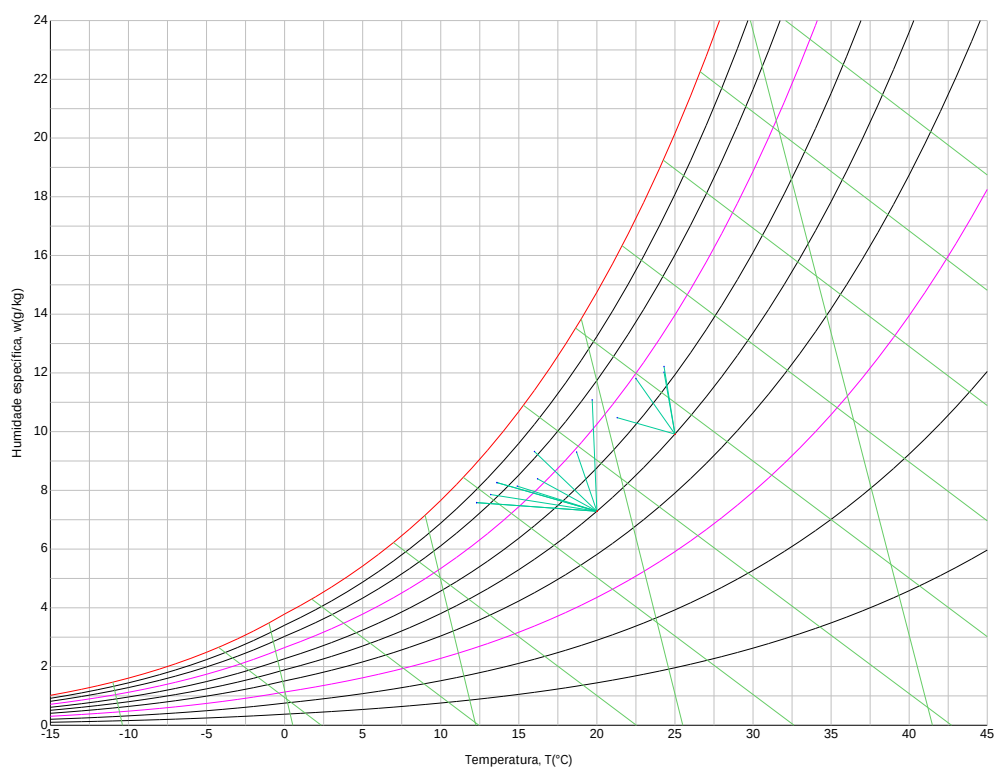
1.1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores													
Temperatura, θ_e	(°C)	12.3	13.2	14.9	16.2	18.7	21.3	24.3	24.3	22.5	19.7	16.0	13.6
Humidade relativa, ϕ_e	(%)	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85
Condições interiores													
Temperatura, θ_i	(°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, ϕ_i	(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

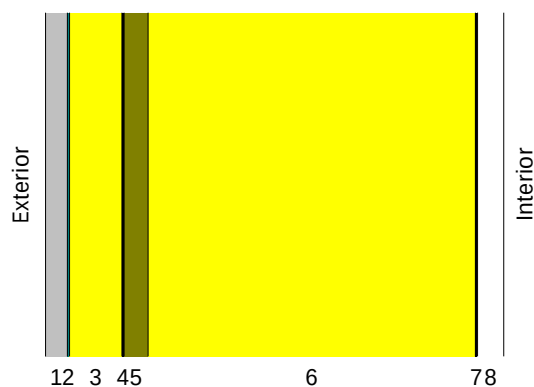
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 30 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.

Verificação de formação de condensações



1.1.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

E-PD1-1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	m	S _d (m)
R _{se}		0.04				
1	Reboco com textura e pintura	1.0	0.550	0.01818	1	0.01
2	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1	0.300	0.00333	1	0.001
3	Poliestireno expandido (EPS)	2.4	0.042	0.57143	1	0.024
4	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	0.230	0.00435	1	0.001
5	Painés de lamelas longas (OSB)	1.1	0.130	0.08462	1	0.011
6	Lã de rocha (MW) +LSF	15.0	0.040	3.75000	1	0.15
7	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	0.230	0.00435	1	0.001
8	Placa de gesso cartonado	1.2	0.250	0.04800	1	0.012
R _{si}		0.13				

onde:

Verificação de formação de condensações

- e : Espessura, cm.
 l : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
 R : Resistência térmica do material, m²·K/W.
 m : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
 S_d : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
 R_{se} : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m²·K/W.
 R_{si} : Resistência térmica superficial interior do elemento, m²·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogêneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e_T	cm	21.0
Resistência térmica total, R_T	m ² ·K/W	4.6543
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.21
Transmitância térmica, U	W/(m ² ·K)	0.215
Factor de resistência superficial interior, f_{Rsi}	--	0.946

onde:

- E_T : Espessura total do elemento, cm.
 R_T : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R_{se} e R_{si} , m²·K/W.
 $S_{d,T}$: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
 U : Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m²·K).
 f_{Rsi} : Factor de resistência superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, em que $U = 0.215$ W/m²·K e $R_{si} = 0.25$ m²·K/W.

1.1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de $j_{si,cr} \leq 0.6$.

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de $f_{Rsi,min}$ fica da seguinte forma:

	q_e (°C)	j_e (%)	q_i (°C)	j_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	12.3	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.818
Fevereiro	13.2	83.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.794
Março	14.9	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.726
Abril	16.2	73.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.632
Maio	18.7	69.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Junho	21.3	66.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.607
Julho	24.3	63.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Agosto	24.3	64.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Setembro	22.5	69.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.419
Outubro	19.7	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Novembro	16.0	82.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.650
Dezembro	13.6	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.782

onde:

- q_e : Temperatura do ar exterior, °C.
 j_e : Humidade relativa do ar exterior, %.
 q_i : Temperatura do ar interior, °C.
 j_i : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.
 P_i : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.
 $P_{sat}(q_{si})$: Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.
 $q_{si,min}$: Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.
 $f_{Rsi,min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que $f_{Rsi} = 0.946 > f_{Rsi,min} = 0.818$, não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

Verificação de formação de condensações

1.1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogêneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

E-PD1-1	q (°C)	P_{sat} (Pa)	P_n (Pa)	j (%)	g_c (g/(m ² ·mês))	M_a (g/m ²)
Ar exterior	12.30	1429.778	1215.312	85.0		
Face exterior	12.37	1436.014	1215.312	84.6	--	--
Interface 1-2	12.40	1438.856	1213.081	84.3	--	--
Interface 2-3	12.40	1439.378	1212.858	84.3	--	--
Interface 3-4	13.35	1531.289	1207.506	78.9	--	--
Interface 4-5	13.35	1532.008	1207.283	78.8	--	--
Interface 5-6	13.49	1546.052	1204.829	77.9	--	--
Interface 6-7	19.70	2293.667	1171.375	51.1	--	--
Interface 7-8	19.71	2294.690	1171.152	51.0	--	--
Face interior	19.78	2306.020	1168.476	50.7	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q : Temperatura, °C.

P_{sat} : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P_n : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

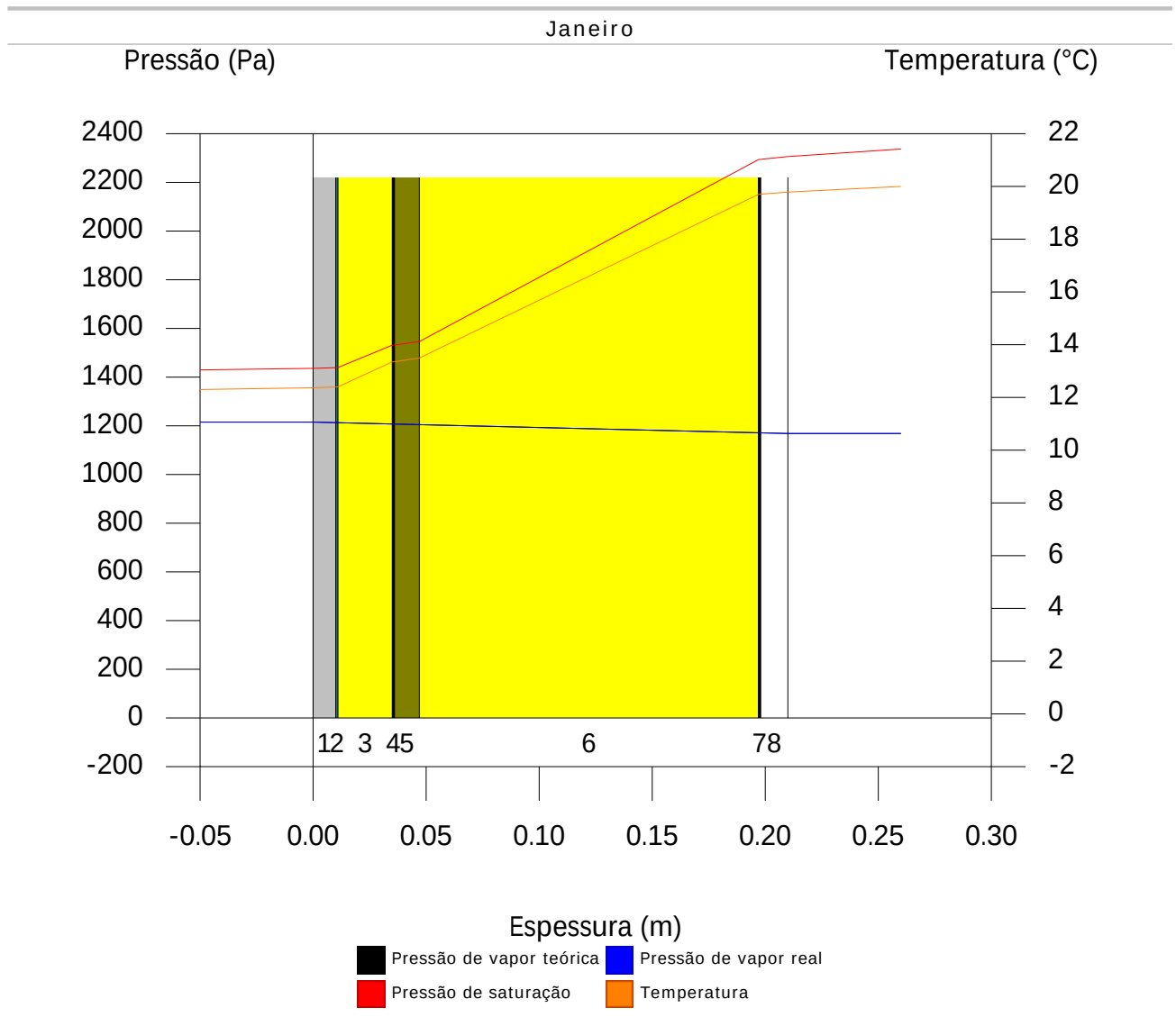
g_c : Densidade de fluxo de condensação, g/(m²·mês).

M_a : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m².

>> Representação gráfica (Janeiro)

Verificação de formação de condensações

1.1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



1.2. Lajes

1.2.1. I-PV1-1

1.2.1.1. Resultados do cálculo de condensações

1.2.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.885 \text{ }^3 f_{Rsi, \min} = 0.818$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

f_{Rsi} : Factor de resistência superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, em que $U = 0.460 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

$f_{Rsi, \min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de $j_{si, cr}$ £ 0.6.

1.2.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

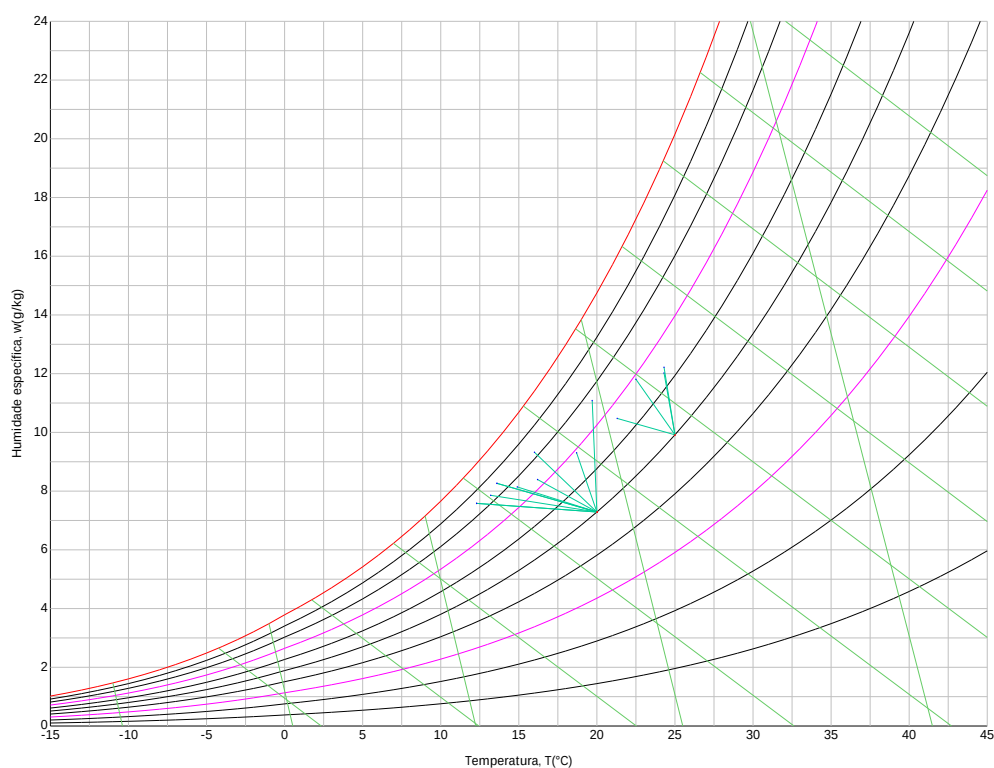
Verificação de formação de condensações

1.2.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

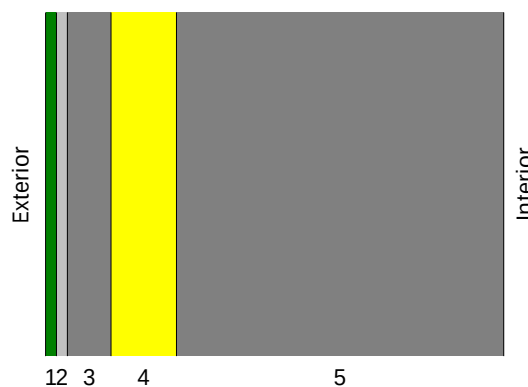
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores													
Temperatura, θ_e	(°C)	12.3	13.2	14.9	16.2	18.7	21.3	24.3	24.3	22.5	19.7	16.0	13.6
Humidade relativa, ϕ_e	(%)	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85
Condições interiores													
Temperatura, θ_i	(°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, ϕ_i	(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 30 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



1.2.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de

Verificação de formação de condensações

faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

I-PV1-1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	m	S _d (m)
R _{se}		0.17				
1	Piso Terminado	1.0	0.800	0.01250	1	0.01
2	Nivelador	1.0	0.550	0.01818	1	0.01
3	Contra Piso	4.0	2.000	0.02000	1	0.04
4	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	1	0.06
5	Piso de Fundação com Armadura	30.0	0.850	0.35294	1	0.3
R _{si}		0.17				

onde:

- e: Espessura, cm.
 l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
 R: Resistência térmica do material, m²·K/W.
 m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
 S_d: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
 R_{se}: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m²·K/W.
 R_{si}: Resistência térmica superficial interior do elemento, m²·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogêneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e _T	cm	42.0
Resistência térmica total, R _T	m ² ·K/W	2.1722
Espessura de ar equivalente total, S _{d,T}	m	0.42
Transmitância térmica, U	W/(m ² ·K)	0.460
Factor de resistência superficial interior, f _{Rsi}	--	0.885

onde:

- E_T: Espessura total do elemento, cm.
 R_T: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R_{se} e R_{si}, m²·K/W.
 S_{d,T}: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
 U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m²·K).
 f_{Rsi}: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R_{si}), em que U = 0.460 W/m²·K e R_{si} = 0.25 m²·K/W.

1.2.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j_{si,cr} £ 0.6 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f_{Rsi,min} fica da seguinte forma:

	q _e (°C)	j _e (%)	q _i (°C)	j _i (%)	P _i (Pa)	P _{sat} (q _{si}) (Pa)	q _{si,min} (°C)	f _{Rsi,min}
Janeiro	12.3	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.818
Fevereiro	13.2	83.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.794
Março	14.9	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.726
Abril	16.2	73.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.632
Maio	18.7	69.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Junho	21.3	66.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.607
Julho	24.3	63.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Agosto	24.3	64.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Setembro	22.5	69.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.419
Outubro	19.7	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000

Verificação de formação de condensações

	q_e (°C)	j_e (%)	q_i (°C)	j_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Novembro	16.0	82.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.650
Dezembro	13.6	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.782

onde:

q_e : Temperatura do ar exterior, °C.

j_e : Humidade relativa do ar exterior, %.

q_i : Temperatura do ar interior, °C.

j_i : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

P_i : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$: Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$: Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que $f_{Rsi} = 0.885 > f_{Rsi,min} = 0.818$, não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

1.2.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogêneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

I-PV1-1	q (°C)	P_{sat} (Pa)	P_n (Pa)	j (%)	g_c (g/(m ² ·mês))	M_a (g/m ²)
Ar exterior	12.30	1429.778	1215.312	85.0		
Face exterior	12.90	1487.449	1215.312	81.7	--	--
Interface 1-2	12.95	1491.769	1214.196	81.4	--	--
Interface 2-3	13.01	1498.072	1213.081	81.0	--	--
Interface 3-4	13.08	1505.032	1208.621	80.3	--	--
Interface 4-5	18.15	2081.878	1201.930	57.7	--	--
Face interior	19.40	2251.188	1168.476	51.9	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q : Temperatura, °C.

P_{sat} : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P_n : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

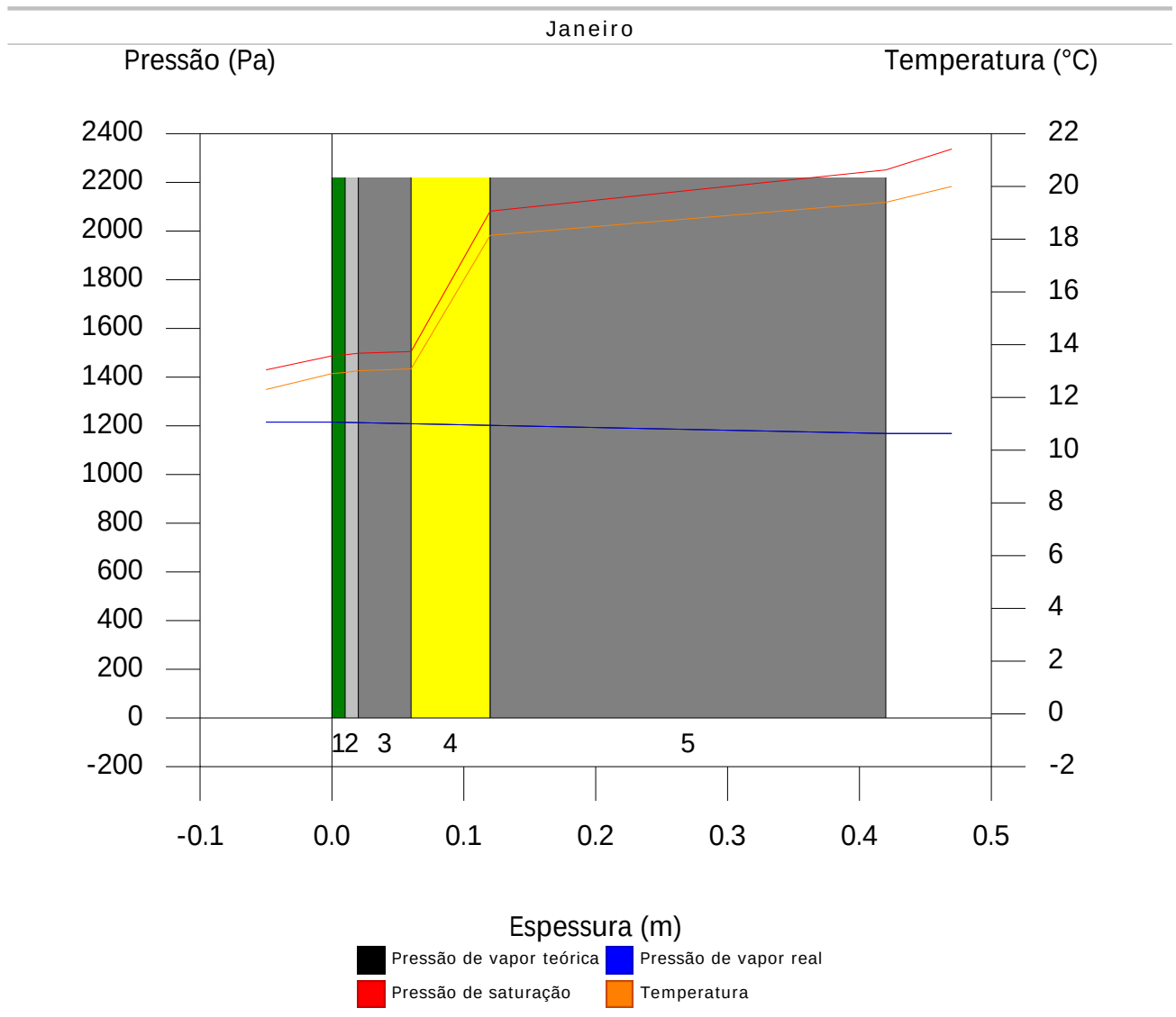
g_c : Densidade de fluxo de condensação, g/(m²·mês).

M_a : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m².

>> Representação gráfica (Janeiro)

Verificação de formação de condensações

1.2.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



1.2.2. I-PV2-1

1.2.2.1. Resultados do cálculo de condensações

1.2.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.949 \quad f_{Rsi, \min} = 0.818$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

f_{Rsi} : Factor de resistência superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, em que $U = 0.203 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

$f_{Rsi, \min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de $j_{si, cr}$ £ 0.6.

1.2.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

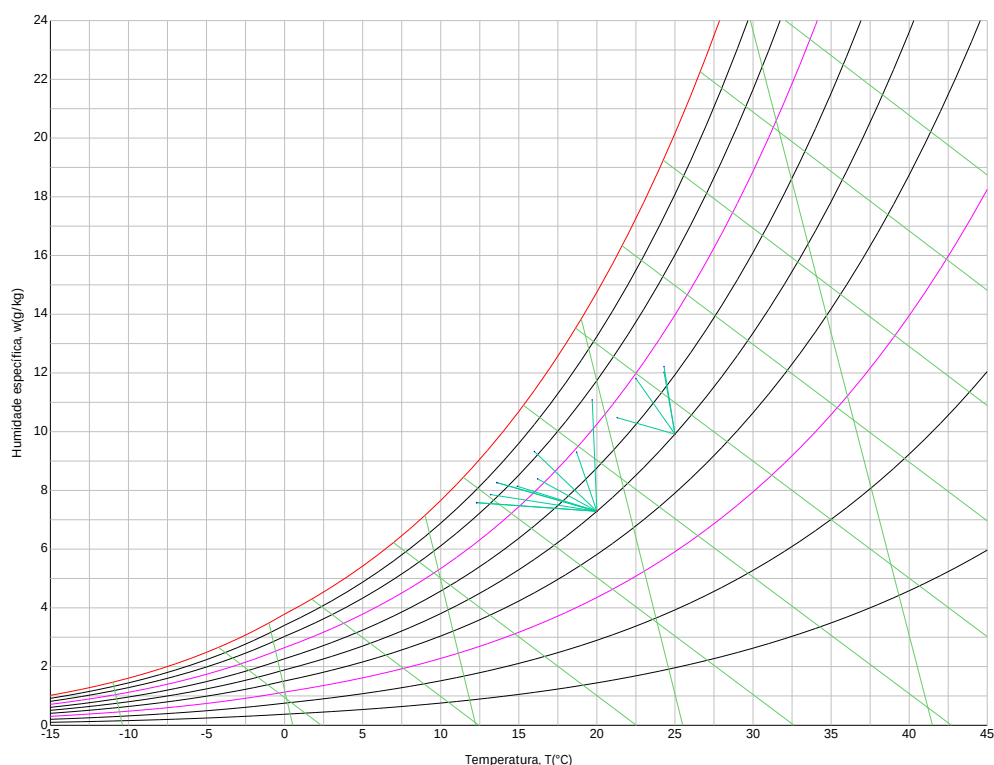
1.2.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

Verificação de formação de condensações

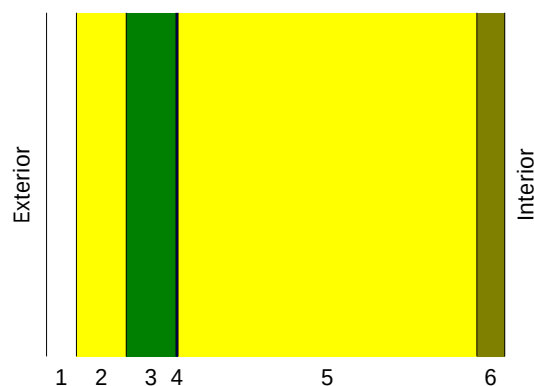
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, θ_e (°C)	12.3	13.2	14.9	16.2	18.7	21.3	24.3	24.3	22.5	19.7	16.0	13.6
Humidade relativa, ϕ_e (%)	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85
Condições interiores												
Temperatura, θ_i (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humidade relativa, ϕ_i (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 30 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



1.2.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Verificação de formação de condensações

I-PV2-1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	m	S _d (m)
R _{se}		0.10				
1	Placa de gesso cartonado	1.5	0.250	0.06000	1	0.015
2	Lã de rocha (MW)	2.5	0.040	0.62500	1	0.025
3	OSB multilaminado	2.5	0.140	0.17857	1	0.025
4	Neopreno (policloropreno)	0.1	0.230	0.00435	1	0.001
5	Lã de rocha (MW) + LSF	15.0	0.040	3.75000	1	0.15
6	Painéis de lamelas longas (OSB)	1.4	0.130	0.10769	1	0.014
R _{si}		0.10				

onde:

e: Espessura, cm.

l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m²·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S_d: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R_{se}: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m²·K/W.

R_{si}: Resistência térmica superficial interior do elemento, m²·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogêneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e _T	cm	23.0
Resistência térmica total, R _T	m ² ·K/W	4.9256
Espessura de ar equivalente total, S _{d,T}	m	0.23
Transmitância térmica, U	W/(m ² ·K)	0.203
Factor de resistência superficial interior, f _{Rsi}	--	0.949

onde:

E_T: Espessura total do elemento, cm.

R_T: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R_{se} e R_{si}, m²·K/W.

S_{d,T}: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m²·K).

f_{Rsi}: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R_{si}), em que U = 0.203 W/m²·K e R_{si} = 0.25 m²·K/W.

1.2.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j_{si,cr} £ 0.6 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f_{Rsi,min} fica da seguinte forma:

	q _e (°C)	j _e (%)	q _i (°C)	j _i (%)	P _i (Pa)	P _{sat} (q _{si}) (Pa)	q _{si,min} (°C)	f _{Rsi,min}
Janeiro	12.3	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.818
Fevereiro	13.2	83.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.794
Março	14.9	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.726
Abril	16.2	73.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.632
Maio	18.7	69.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Junho	21.3	66.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.607
Julho	24.3	63.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Agosto	24.3	64.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Setembro	22.5	69.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.419
Outubro	19.7	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000

Verificação de formação de condensações

	q_e (°C)	j_e (%)	q_i (°C)	j_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Novembro	16.0	82.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.650
Dezembro	13.6	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.782

onde:

q_e : Temperatura do ar exterior, °C.

j_e : Humidade relativa do ar exterior, %.

q_i : Temperatura do ar interior, °C.

j_i : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

P_i : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$: Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$: Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que $f_{Rsi} = 0.949 > f_{Rsi,min} = 0.818$, não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

1.2.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogêneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

I-PV2-1	q (°C)	P_{sat} (Pa)	P_n (Pa)	j (%)	g_c (g/(m ² ·mês))	M_a (g/m ²)
Ar exterior	12.30	1429.778	1215.312	85.0		
Face exterior	12.46	1444.547	1215.312	84.1	--	--
Interface 1-2	12.55	1453.472	1212.257	83.4	--	--
Interface 2-3	13.53	1549.362	1207.166	77.9	--	--
Interface 3-4	13.81	1577.760	1202.075	76.2	--	--
Interface 4-5	13.81	1578.457	1201.872	76.1	--	--
Interface 5-6	19.68	2290.396	1171.326	51.1	--	--
Face interior	19.84	2314.433	1168.476	50.5	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

onde:

q : Temperatura, °C.

P_{sat} : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P_n : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

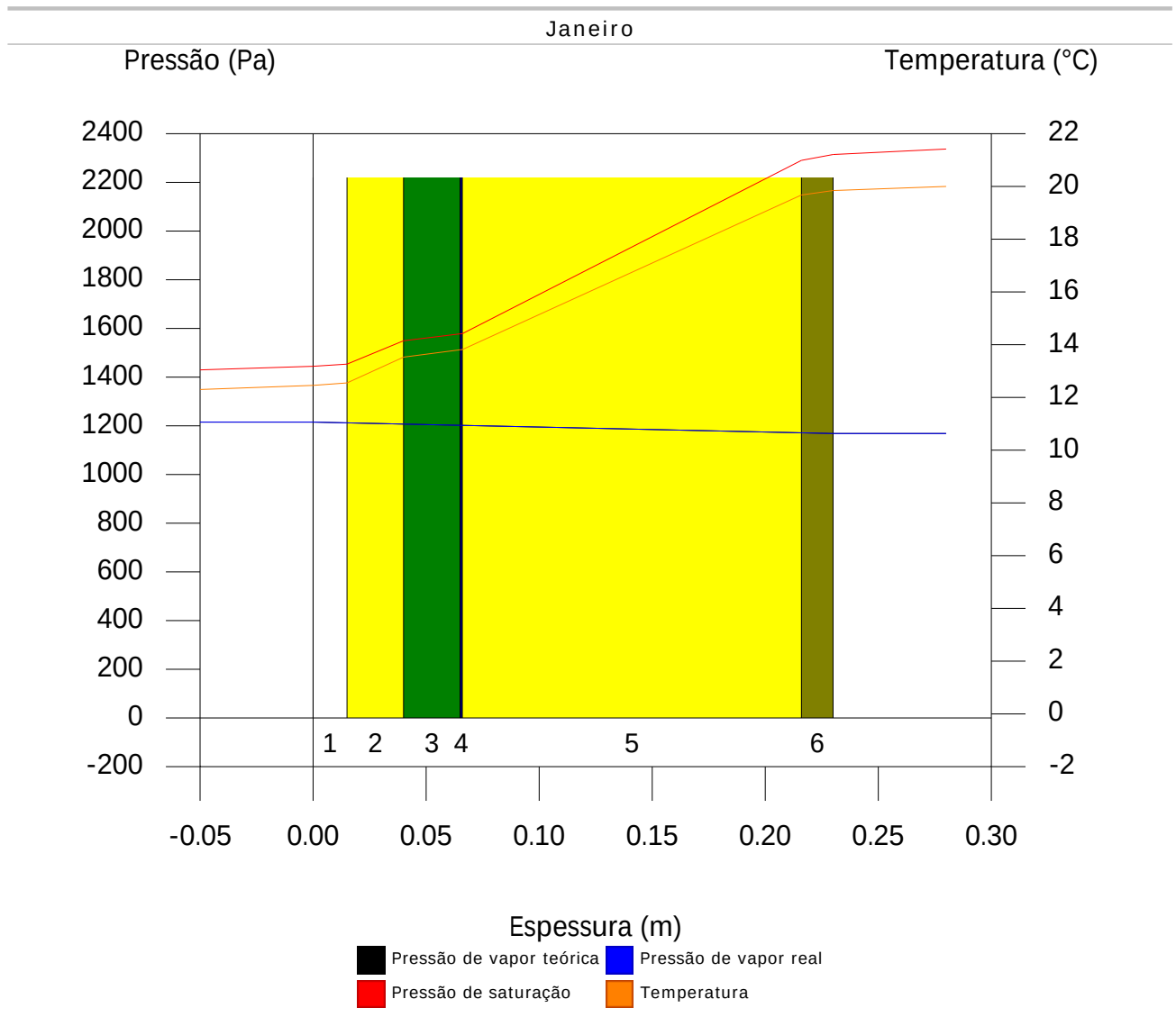
g_c : Densidade de fluxo de condensação, g/(m²·mês).

M_a : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m².

>> Representação gráfica (Janeiro)

Verificação de formação de condensações

1.2.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



Anexo XVII - (REH) Cava - Cálculo do factor de redução

Cálculo do factor de redução

ISO 13789

ÍNDICE

1. MÉTODO DE CÁLCULO.....	3
2. ZONAS NÃO AQUECIDAS.....	4
3. ZONA NÃO HABITÁVEL - CAVA.....	5

Cálculo do factor de redução

1. MÉTODO DE CÁLCULO

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

onde:

H_{iu} coeficiente de perda do espaço aquecido para o espaço não aquecido

H_{ue} coeficiente de perda do espaço não aquecido ao exterior

H_{iu} , H_{ue} incluem as perdas por transmissão e por renovação de ar

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu}$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue}$$

Sendo:

$$L_{iu} = L_{Diu} + L_{siu}$$

$$L_{ue} = L_{Due} + L_{sue}$$

onde:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k$$

Sendo:

A_i área do elemento 'i' do edifício (m^2)

U_i coeficiente de transmissão térmica do elemento 'i' do edifício

l_k comprimento da ponte térmica linear 'k' (m)

Ψ_k coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica 'k'

L_s coeficiente de perda pelo pavimento em regime estacionário, calculado segundo a norma ISO 13370 (W/K)

$$H_{V,iu} = \rho c \dot{V}_{iu}$$

$$H_{V,ue} = \rho c \dot{V}_{ue}$$

onde:

ρ densidade do ar (kg/m^3)

c capacidade calorífica específica do ar ($J/(kg \cdot K)$)

ρc valor convencional para a capacidade calorífica do ar ($1200 J/(m^3 \cdot K)$)

$\dot{V}_{ue}$ consumo de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (m^3/h)

$\dot{V}_{iu}$ consumo de ar entre o espaço aquecido e o não aquecido (m^3/h)

Sendo:

$$\dot{V}_{iu} = 0$$

$$\dot{V}_{ue} = V_u n_{ue}$$

onde:

V_u volume de ar no espaço não aquecido (m^3)

n_{ue} taxa de renovação de ar convencional entre o espaço não aquecido e o exterior (v/h)

Cálculo do factor de redução

2. ZONAS NÃO AQUECIDAS

Compartimento	Factor de redução
Não Habitável - Cava	0.59
Não Habitável - Cobertura	0.74

Cálculo do factor de redução

3. ZONA NÃO HABITÁVEL - CAVA

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu})

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não aquecidos)	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
I-PV1-1	61.26	0.49	30.15
		TOTAL	30.15

Coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu}) (W / °C)

30.16

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue})

Paredes em contacto com o exterior do espaço não aquecido	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
S-PDE1-0	18.51	0.84	15.56
		TOTAL	15.56

Pavimentos em contacto com o exterior do espaço não aquecido	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
S-PVE0-1	63.68	0.36	23.07
		TOTAL	23.07

Pontes térmicas lineares entre o espaço não aquecido e o exterior	Comprimento (m)	Y (W / (m·°C))	Y·l (W / °C)
Fachada com pavimentos térreos	31.92	0.01	0.32
Duas paredes verticais em ângulo saliente	2.32	0.10	0.23
Fachada com pavimento de nível intermédio	31.76	0.10	3.18
		TOTAL	3.73

Coeficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue}) (W / °C)

42.37

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (H_{iu})

$H_{v,iu}$	0.00
	+
L_{iu}	30.16
	=
Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{iu}) (W / °C)	30.16

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (H_{ue})

Cálculo do factor de redução

$H_{v,ue}$ ($V_u = 36.93 \text{ m}^3$; $n_{ue} = 0.10 \text{ v/h}$)

1.23

+

L_{ue}

42.37

=

Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{ue}) ($\text{W} / ^\circ\text{C}$)

43.60

Factor de redução

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = 0.59$$

Anexo XVIII

(REH) Cava - Descrição das pontes térmicas lineares

Descrição das pontes térmicas lineares

Despacho nº15793-K/2013

EN ISO 14683

EN ISO 10211

ÍNDICE

1. NÃO HABITÁVEL - CAVA.....	3
1.1. Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo.....	3
1.2. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio.....	3
1.3. Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente.....	3

Descrição das pontes térmicas lineares

NÃO HABITÁVEL - CAVA

1.1. Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo

Ligação de fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido ou com pavimento térreo	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
S-PVE0-1-S-PDE1-0 Fachada com os pavimentos térreos	31.920	0.010

1.2. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio

Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
I-PV1-1-E-PD1-1-S-PDE1-0 Fachada com pavimento de nível intermédio	31.764	0.100

1.3. Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente

Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
S-PDE1-0-S-PDE1-0 Duas paredes verticais em ângulo saliente	2.320	0.100

Anexo XIX

(REH) Cobertura - Cálculo do factor de redução

Cálculo do factor de redução

ISO 13789

ÍNDICE

1. MÉTODO DE CÁLCULO.....	3
2. ZONAS NÃO AQUECIDAS.....	4
3. ZONA NÃO HABITÁVEL - COBERTURA.....	5

Cálculo do factor de redução

1. MÉTODO DE CÁLCULO

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

onde:

H_{iu} coeficiente de perda do espaço aquecido para o espaço não aquecido

H_{ue} coeficiente de perda do espaço não aquecido ao exterior

H_{iu} , H_{ue} incluem as perdas por transmissão e por renovação de ar

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu}$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue}$$

Sendo:

$$L_{iu} = L_{Diu} + L_{siu}$$

$$L_{ue} = L_{Due} + L_{sue}$$

onde:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k$$

Sendo:

A_i área do elemento 'i' do edifício (m^2)

U_i coeficiente de transmissão térmica do elemento 'i' do edifício

l_k comprimento da ponte térmica linear 'k' (m)

Ψ_k coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica 'k'

L_s coeficiente de perda pelo pavimento em regime estacionário, calculado segundo a norma ISO 13370 (W/K)

$$H_{V,iu} = \rho c \dot{V}_{iu}$$

$$H_{V,ue} = \rho c \dot{V}_{ue}$$

onde:

ρ densidade do ar (kg/m^3)

c capacidade calorífica específica do ar ($J/(kg \cdot K)$)

ρc valor convencional para a capacidade calorífica do ar ($1200 J/(m^3 \cdot K)$)

$\dot{V}_{ue}$ consumo de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (m^3/h)

$\dot{V}_{iu}$ consumo de ar entre o espaço aquecido e o não aquecido (m^3/h)

Sendo:

$$\dot{V}_{iu} = 0$$

$$\dot{V}_{ue} = V_u n_{ue}$$

onde:

V_u volume de ar no espaço não aquecido (m^3)

n_{ue} taxa de renovação de ar convencional entre o espaço não aquecido e o exterior (v/h)

Cálculo do factor de redução

2. ZONAS NÃO AQUECIDAS

Compartimento	Factor de redução
Não Habitável - Cava	0.59
Não Habitável - Cobertura	0.74

Cálculo do factor de redução

3. ZONA NÃO HABITÁVEL - COBERTURA

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu})

Pavimentos sobre espaços não aquecidos	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
I-PV2-1	61.26	0.20	12.44
TOTAL			12.44

Coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu}) (W / °C)

12.44

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue})

Paredes em contacto com o exterior do espaço não aquecido	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
E-PD1-1	34.88	0.21	7.49
TOTAL			7.49

Coberturas do espaço não aquecido em contacto com o exterior	Área (m ²)	U (W / (m ² ·°C))	U·A (W / °C)
E-CO2-1	87.94	0.18	16.25
TOTAL			16.25

Pontes térmicas lineares entre o espaço não aquecido e o exterior	Comprimento (m)	Y (W / (m·°C))	Y·l (W / °C)
Fachada com pavimento de nível intermédio	26.54	0.12	3.19
Fachada com pavimento de nível intermédio	5.00	0.50	2.50
Fachada com cobertura	31.92	0.04	1.28
TOTAL			6.97

Coeficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue}) (W / °C)

30.52

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (H_{iu})

$H_{v,iu}$	0.00
	+
L_{iu}	12.44
	=
Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{iu}) (W / °C)	12.44

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (H_{ue})

Cálculo do factor de redução

$H_{v,ue}$ ($V_u = 151.01 \text{ m}^3$; $n_{ue} = 0.10 \text{ v/h}$)

5.03

+

L_{ue}

30.52

=

Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{ue}) ($\text{W} / ^\circ\text{C}$)

35.55

Factor de redução

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = 0.74$$

Anexo XX

(REH) Cobertura - Descrição das pontes térmicas lineares

Descrição das pontes térmicas lineares

Despacho nº15793-K/2013

EN ISO 14683

EN ISO 10211

ÍNDICE

1. NÃO HABITÁVEL - COBERTURA.....	3
1.1. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio.....	3
1.2. Ligação de fachada com cobertura.....	3

Descrição das pontes térmicas lineares

NÃO HABITÁVEL - COBERTURA

1.1. Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio

Ligação de fachada com pavimento de nível intermédio	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1 *	26.542	0.120
Fachada com pavimento de nível intermédio.		
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	4.998	0.500
Fachada com varanda		

* Cálculo efectuado conforme a norma

1.2. Ligação de fachada com cobertura

Ligação de fachada com cobertura	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
E-CO2-1-E-PD1-1 *	31.920	0.040
Fachada com cobertura		

* Cálculo efectuado conforme a norma

Anexo XXI

(REH) Cobertura - Descrição de materiais e elementos construtivos

Descrição de materiais e elementos construtivos

ISO 6946

ISO 10077

ISO 13370

ISO 10456

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE.....	4
1.1. Fachadas.....	4
1.1.1. Parte opaca das fachadas.....	4
1.2. Coberturas.....	5
1.2.1. Parte maciça das coberturas planas.....	5
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO.....	7
2.1. Compartimentação interior horizontal.....	7
3. MATERIAIS.....	9

1. SISTEMA ENVOLVENTE

Descrição de materiais e elementos construtivos

1. SISTEMA ENVOLVENTE

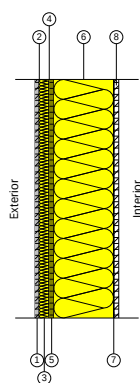
1.1. Fachadas

1.1.1. Parte opaca das fachadas

E-PD1-1

Superfície total 34.88 m²

Parede simples com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 21.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Reboco com textura e pintura, com 1.0 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.550 W/(m·°C); 2) Poliamida com 25% de fibra de vidro, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.300 W/(m·°C); 3) Poliestireno expandido (EPS), com 2.4 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.042 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 5) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.130 W/(m·°C); 6) Lã de rocha (MW) +LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 7) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.230 W/(m·°C); 8) Placa de gesso cartonado, com 1.2 cm de espes. e coef. de cond. tér. de 0.250 W/(m·°C).



Listagem de camadas:

1 - Reboco com textura e pintura	1 cm
2 - Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1 cm
3 - Poliestireno expandido (EPS)	2.4 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1 cm
5 - Painéis de lamelas longas (OSB)	1.1 cm
6 - Lã de rocha (MW) +LSF	15 cm
7 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1 cm
8 - Placa de gesso cartonado	1.2 cm

Características Transmitância térmica, U: 0.210 W/(m²·°C)

Espessura total 21 cm

Descrição de materiais e elementos construtivos

1.2. Coberturas

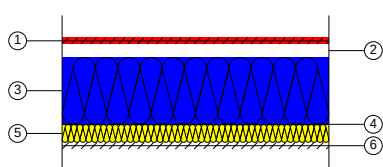
1.2.1. Parte maciça das coberturas planas

E-CO2-1

Superfície total 87.94 m²

COBERTURA SECA INCLINADA COM ISOLAMENTO - Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 25.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Telha de Argila Cozida, com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.650 W/(m·°C); 2) Camera de Ar, com 3.0 cm de espessura e resistência térmica de 0.180 m²·°C/W; 3) Poliestireno extrudido (XPS), com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.037 W/(m·°C); 4) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Poliestireno expandido (EPS) + LSF, com 4.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 6) Placa de gesso cartonado, com 1.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C).

Listagem de camadas:



1 - Telha de Argila Cozida	1.4 cm
2 - Camera de Ar	3 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS)	15 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1 cm
5 - Poliestireno expandido (EPS) + LSF	4 cm
6 - Placa de gesso cartonado	1.5 cm

Características

Transmitância térmica, U: 0.185 W/(m²·°C)
Espessura total 25 cm

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

Descrição de materiais e elementos construtivos

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

2.1. Compartimentação interior horizontal

I-PV2-1

Superfície total 61.26 m²

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 23.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Placa de gesso cartonado, com 1.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.250 W/(m·°C); 2) Lã de rocha (MW), com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 3) OSB multilaminado, com 2.5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Neopreno (policloropreno), com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 5) Lã de rocha (MW) + LSF, com 15.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.040 W/(m·°C); 6) Painéis de lamelas longas (OSB), com 1.4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.130 W/(m·°C).

Listagem de camadas:

①	1 - Placa de gesso cartonado	1.5 cm
②	2 - Lã de rocha (MW)	2.5 cm
③	3 - OSB multilaminado	2.5 cm
④	4 - Neopreno (policloropreno)	0.1 cm
⑤	5 - Lã de rocha (MW) + LSF	15 cm
⑥	6 - Painéis de lamelas longas (OSB)	1.4 cm

Características

Transmitância térmica, U: 0.203 W/(m²·°C)

Espessura total 23 cm

3. MATERIALS

Descrição de materiais e elementos construtivos

3. MATERIAIS

Camadas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Reboco com textura e pintura	1	1200	0.550	0.0182	1000
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1	1450	0.300	0.0033	1000
Poliestireno expandido (EPS)	2.4	14	0.042	0.5714	1000
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	1100	0.230	0.0043	1000
Painés de lamelas longas (OSB)	1.1	650	0.130	0.0846	1000
Lã de rocha (MW) +LSF	15	50	0.040	3.7500	1000
Placa de gesso cartonado	1.2	1000	0.250	0.0480	1000
Telha de Argila Cozida	1.4	1500	0.650	0.0215	1000
Poliestireno extrudido (XPS)	15	40	0.037	4.0541	1000
Poliestireno expandido (EPS) + LSF	4	14	0.042	0.9524	1000
Placa de gesso cartonado	1.5	1000	0.250	0.0600	1000
Lã de rocha (MW)	2.5	50	0.040	0.6250	1000
OSB multilaminado	2.5	600	0.140	0.1786	1000
Neopreno (policloropreno)	0.1	1240	0.230	0.0043	1000
Lã de rocha (MW) + LSF	15	50	0.040	3.7500	1000
Painés de lamelas longas (OSB)	1.4	650	0.130	0.1077	1000
Abreviaturas utilizadas					
e	Espessura cm		RT	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W	
ρ	Densidade kg/m^3		Cp	Calor específico J/($kg \cdot ^\circ C$)	
λ	Condutibilidade térmica W/($m \cdot ^\circ C$)				

Anexo XXII - (DB-HE) Exigencia básica HE1

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1:
Condiciones para el control de la demanda energética

ÍNDICE

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA.....	3
1.1. Condiciones de la envolvente térmica.....	3
1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica.....	3
1.1.2. Control solar de la envolvente térmica.....	3
1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica.....	4
1.2. Limitación de descompensaciones.....	4
1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica.....	4
2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO.....	4
2.1. Zonificación climática.....	4
2.2. Agrupaciones de recintos.....	4
3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO.....	4
3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.....	4
3.1.1. Cerramientos opacos.....	4
3.1.2. Huecos.....	5
3.1.3. Puentes térmicos.....	6

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

1.1. Condiciones de la envolvente térmica

1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

Transmitancia de la envolvente térmica: Ninguno de los elementos de la envolvente térmica supera el valor límite de transmitancia térmica descrito en la tabla 3.1.1.a del DB HE1.



Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 0.48 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \leq K_{\text{lim}} = 0.62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$



donde:

K : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

K_{lim} : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

	S (m ²)	L (m)	K_i (W/(m ² ·K))	% K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 284.565 m ²				
Fachadas	87.13	--	0.07	13.75
Muros en contacto con el terreno	18.51	--	0.07	14.38
Suelos en contacto con el terreno	63.68	--	0.08	16.95
Cubiertas	87.94	--	0.06	11.94
Huecos	27.30	--	0.06	12.03
Puentes térmicos	--	252.482	0.15	30.94

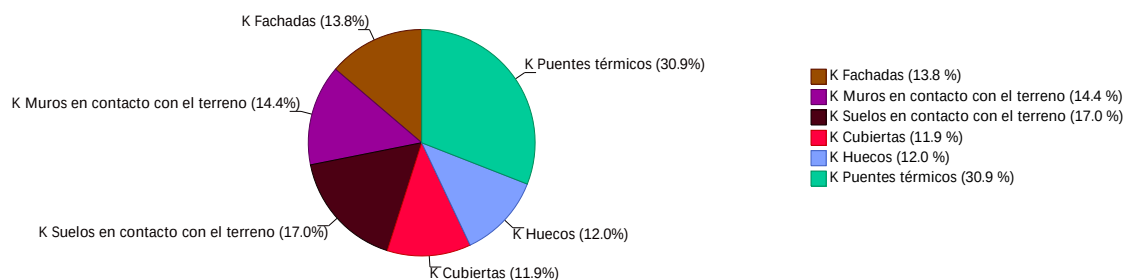
donde:

S : Superficie, m².

L : Longitud, m.

K_i : Coeficiente parcial de transmisión de calor, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor., %.



1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,jul}} = 1.18 \text{ kWh/m}^2 \leq q_{\text{sol,jul,lim}} = 2.00 \text{ kWh/m}^2$$



donde:

$q_{\text{sol,jul}}$: Valor calculado del parámetro de control solar, kWh/m^2 .

$q_{\text{sol,jul,lim}}$: Valor límite del parámetro de control solar, kWh/m^2 .

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

$$n_{50} = 5.29305 \text{ h}^{-1}$$



donde:

n_{50} : Valor calculado de la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h^{-1} .

1.2. Limitación de descompensaciones

Limitación de descompensaciones: La transmitancia térmica de las particiones interiores no supera el valor límite descrito en la tabla 3.2 del DB HE1.



1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica

Limitación de condensaciones: en la envolvente térmica del edificio no se producen condensaciones intersticiales que puedan producir una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.



2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO

2.1. Zonificación climática

El edificio objeto del proyecto se sitúa en el municipio de Faro (provincia de Alcoutim), con una altura sobre el nivel del mar de 30.000 m. Le corresponde, conforme al Anejo B de CTE DB HE 1, la zona climática A4.

La pertenencia a dicha zona climática, junto con el tipo y el uso del edificio (Obra nueva - Residencial privado), define los valores límite aplicables en la cuantificación de la exigencia, descritos en la sección HE1. Control de la demanda energética del edificio, del Documento Básico HE Ahorro de energía, del CTE.

2.2. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de la envolvente térmica del edificio, así como la de cada una de las zonas que han sido incluidas en la misma:

	S (m^2)	V (m^3)	V_{inf} (m^3)	$Q_{\text{sol,jul}}$ (kWh/mes)	n_{50} (h^{-1})	$q_{\text{sol,jul}}$ (kWh/ m^2 /mes)	V/A (m^3/m^2)
Zona común	61.58	186.43	155.18	72.66	3.727	-	-
Não habitável	--	202.04	187.95	0	6.586	-	-
Envolvente térmica	61.58	388.47	343.13	72.66	5.3	1.18	1.4

donde:

S: Superficie útil interior, m^2 .

V: Volumen interior, m^3 .

V_{inf} : Volumen interior para el cálculo de las infiltraciones, m^3 .

$Q_{\text{sol,jul}}$: Ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

n_{50} : Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h^{-1} .

$q_{\text{sol,jul}}$: Control solar, kWh/ m^2 /mes.

V/A: Compacidad (relación entre el volumen encerrado y la superficie de intercambio con el exterior), m^3/m^2 .

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO

3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el 57.02 % del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

	Tipo	S (m ²)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	a	O. (°)	S·U (W/K)	
Zona común								
Fachada		13.83	0.21	0.70	0.50	Norte(0)	2.97	✓
Fachada		13.41	0.21	0.70	0.50	Este(90)	2.88	✓
Fachada		15.93	0.21	0.70	0.50	Oeste(270)	3.42	✓
Fachada		9.08	0.21	0.70	0.50	Sur(180)	1.95	✓
							11.23	

	Tipo	S (m ²)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	a	O. (°)	S·U (W/K)	
Não habitável								
Fachada		8.82	0.15 (b = 0.72)	0.70	0.50	Oeste(270)	1.89	✓
Fachada		8.42	0.15 (b = 0.72)	0.70	0.50	Sur(180)	1.81	✓
Fachada		8.82	0.15 (b = 0.72)	0.70	0.50	Norte(0)	1.89	✓
Fachada		8.82	0.15 (b = 0.72)	0.70	0.50	Este(90)	1.89	✓
Muro de sótano		4.63	0.66 (b = 0.62)	0.80	-	Oeste(270)	4.89	✓
Muro de sótano		4.63	0.66 (b = 0.62)	0.80	-	Sur(180)	4.89	✓
Muro de sótano		4.63	0.66 (b = 0.62)	0.80	-	Norte(0)	4.89	✓
Muro de sótano		4.63	0.66 (b = 0.62)	0.80	-	Este(90)	4.89	✓
Cubierta		87.94	0.13 (b = 0.72)	0.50	0.50	-	16.25	✓
Solera		63.68	0.22 (b = 0.62)	0.80	-	-	23.07	✓
							66.39	

donde:

S: Superficie, m².

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

b: Coeficiente de reducción de temperatura.

a: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el 12.03 % del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m ²)	O. (°)	F _F (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{gl,n}	g _{gl,sh,wi}	Q _{sol,jul} (kWh/mes)	% q _{sol,jul}	
Zona común											
E-VE1-L1	6.30	Este(90)	0.05	0.60	2.70	3.78	0.19	0.03	25.75	35.44	✓
E-VE1-L1	6.30	Norte(0)	0.05	0.60	2.70	3.78	0.19	0.03	10.92	15.03	✓
E-VE1-S1	10.50	Sur(180)	0.05	0.60	2.70	6.30	0.19	0.03	21.89	30.12	✓
E-VE1-O1	4.20	Oeste(270)	0.05	0.60	2.70	2.52	0.19	0.03	14.10	19.40	✓
						16.38			72.66	100.00	

donde:

S: Superficie, m².

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

F_F: Fracción de parte opaca, %.

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

g_{gl}: Factor solar.

g_{gl,sh,wi}: Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados.

Q_{sol,jul}: Ganancia solar para el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

%q_{sol,jul}: Repercusión en el parámetro de control solar de la envolvente térmica, %.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

3.1.3. Puentes térmicos

Los puentes térmicos suponen el 30.94 % del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	L (m)	Y (W/(m·K))	L·Y (W/K)
Zona común				
Hueco de ventana		42.800	0.500	21.4
Encuentro de fachada con forjado		31.764	0.123	3.9
Esquina saliente de fachadas		7.560	0.025	0.2
Encuentro de fachada con forjado		26.542	0.024	0.6
Esquina saliente de fachadas		5.009	0.040	0.2
Encuentro de fachada con forjado		4.998	0.400	2.0
				28.3
Não habitável				
Encuentro de fachada con solera		31.920	0.100	3.2
Esquina saliente de fachadas		2.320	0.100	0.2
Encuentro de fachada con forjado		31.764	0.100	3.2
Encuentro de fachada con forjado		26.542	0.123	3.3
Encuentro de fachada con forjado		4.998	0.500	2.5
Esquina saliente de fachadas		4.344	0.025	0.1
Encuentro de fachada con cubierta		31.920	0.041	1.3
				13.8

donde:

L: Longitud, m.

Y: Transmitancia térmica lineal, W/(m·K).

Anexo XXIII - (DB-HE) Informe de Demanda energética

Demanda energética

ÍNDICE

1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSUALES.....	3
2.1. Balance energético anual del edificio.....	3
2.2. Demanda energética mensual de calefacción y refrigeración.....	4
2.3. Evolución de la temperatura.....	4
2.4. Resultados numéricos del balance energético por zona y mes.....	5
3. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.....	6
3.1. Agrupaciones de recintos.....	6

Demanda energética

1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u	D_{cal}		D_{ref}	
	(m ²)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Zona común	61.58	224.40	3.64	1044.91	16.97
	61.58	224.40	3.64	1044.91	16.97

donde:

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

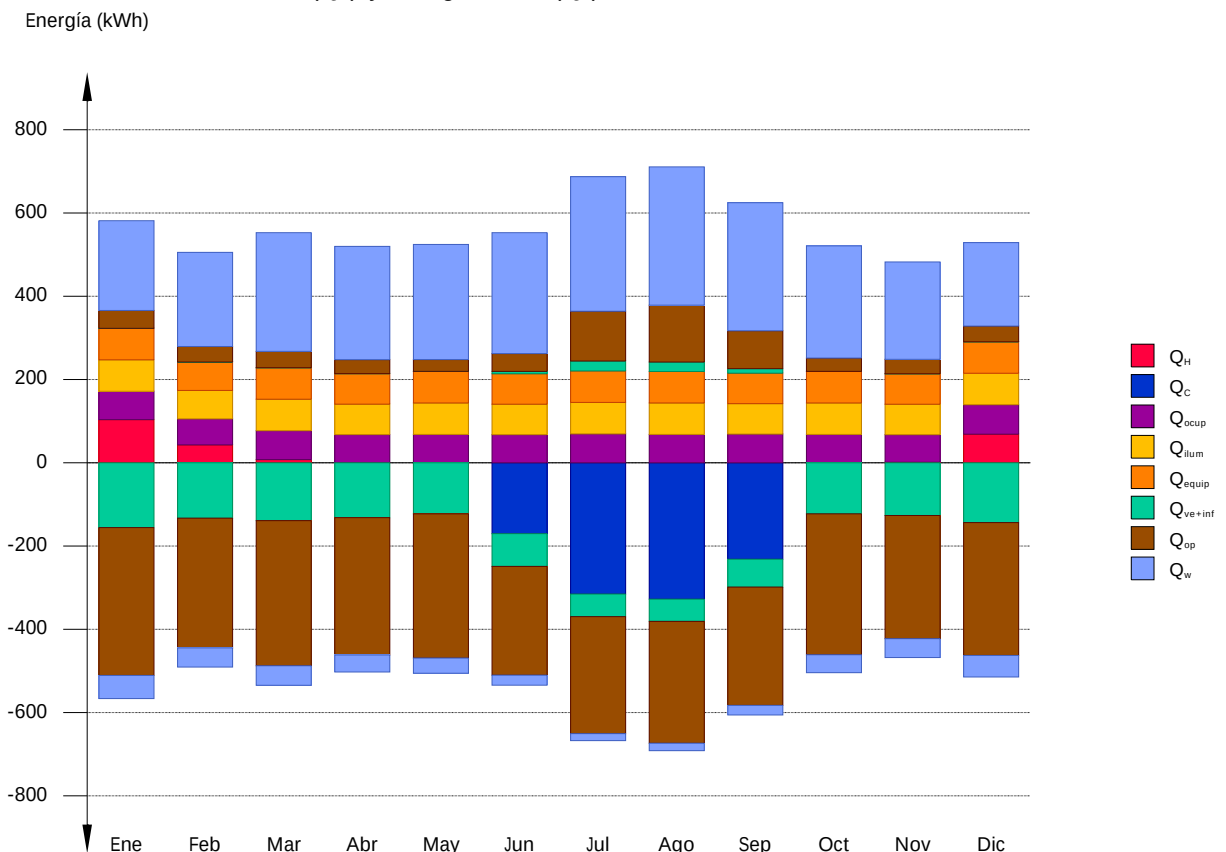
D_{cal} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

D_{ref} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

2. RESULTADOS MENSUALES.

2.1. Balance energético anual del edificio.

La siguiente gráfica de barras muestra el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica a través de elementos pesados y ligeros (Q_{op} y Q_w , respectivamente), la energía intercambiada por ventilación e infiltraciones (Q_{ve+inf}), la ganancia de calor interna debida a la ocupación (Q_{ocup}), a la iluminación (Q_{lum}) y al equipamiento interno (Q_{equip}), así como el aporte necesario de calefacción (Q_H) y refrigeración (Q_C).



En la siguiente tabla se muestran los valores numéricos correspondientes a la gráfica anterior, del balance energético del edificio completo, como suma de las energías involucradas en el balance energético de cada una de las zonas térmicas que conforman el modelo de cálculo del edificio.

El criterio de signos adoptado consiste en emplear valores positivos para energías aportadas a la zona de cálculo, y negativos para la energía extraída.

Demanda energética

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Balance energético anual del edificio.														
Q_{op}	42.9	37.2	39.2	33.5	28.4	42.9	119.5	136.6	91.1	32.0	34.6	37.6	-3089.23	-50.17
Q_w	215.6	226.1	285.2	272.1	276.5	290.4	323.3	332.2	307.6	269.4	233.9	200.5	2785.32	45.23
Q_{ve+inf}	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	5.6	23.8	22.7	10.9	0.3	0.1	0.0	-1264.14	-20.53
Q_{equip}	75.6	68.3	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	890.08	14.45
Q_{lum}	75.6	68.3	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	890.08	14.45
Q_{ocup}	68.1	62.5	69.4	67.6	68.1	67.6	69.4	68.1	68.9	68.1	66.2	70.8	814.86	13.23
Q_H	103.6	43.0	7.7	0.1	--	--	--	--	--	--	1.3	68.7	224.40	3.64
Q_C	--	--	--	--	--	-170.2	-315.4	-327.6	-231.7	--	--	--	-1044.91	-16.97
Q_{HC}	103.6	43.0	7.7	0.1	--	170.2	315.4	327.6	231.7	--	1.3	68.7	1269.32	20.61

donde:

Q_{op} : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/m²·año.

Q_w : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/m²·año.

Q_{ve+inf} : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/m²·año.

Q_{equip} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno, kWh/m²·año.

Q_{lum} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación, kWh/m²·año.

Q_{ocup} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación, kWh/m²·año.

Q_H : Energía aportada de calefacción, kWh/m²·año.

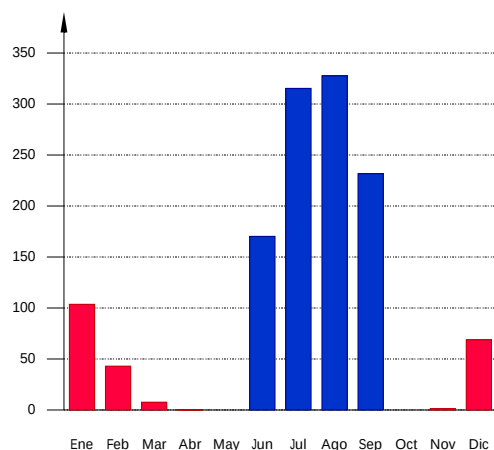
Q_C : Energía aportada de refrigeración, kWh/m²·año.

Q_{HC} : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/m²·año.

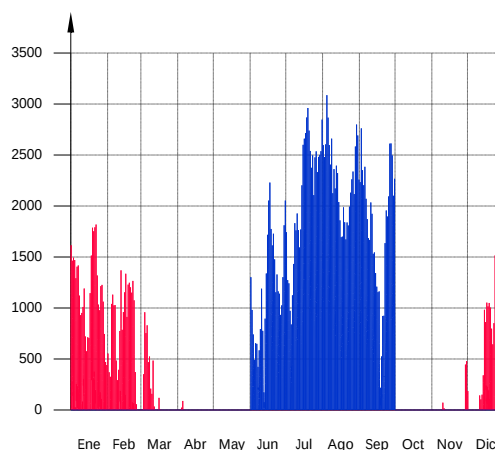
2.2. Demanda energética mensual de calefacción y refrigeración.

Atendiendo únicamente a la demanda energética a cubrir por los sistemas de calefacción y refrigeración, las necesidades energéticas y de potencia útil instantánea a lo largo de la simulación anual se muestran en los siguientes gráficos:

Energía (kWh/mes)



Potencia (W)

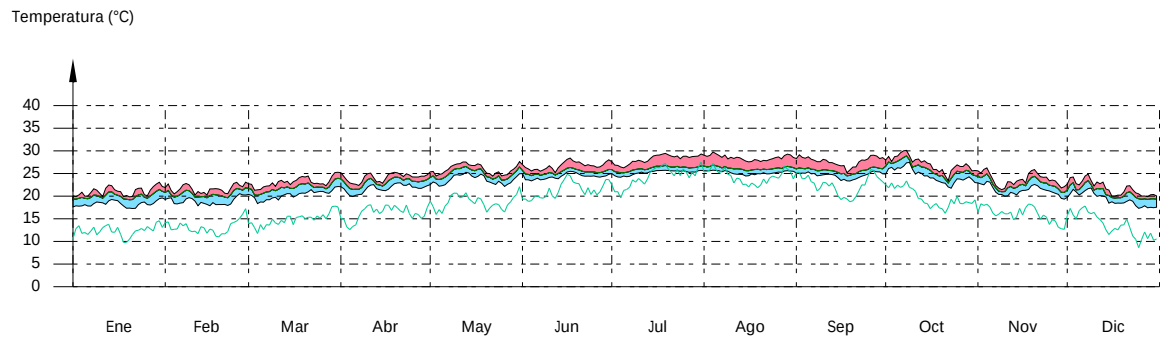


2.3. Evolución de la temperatura.

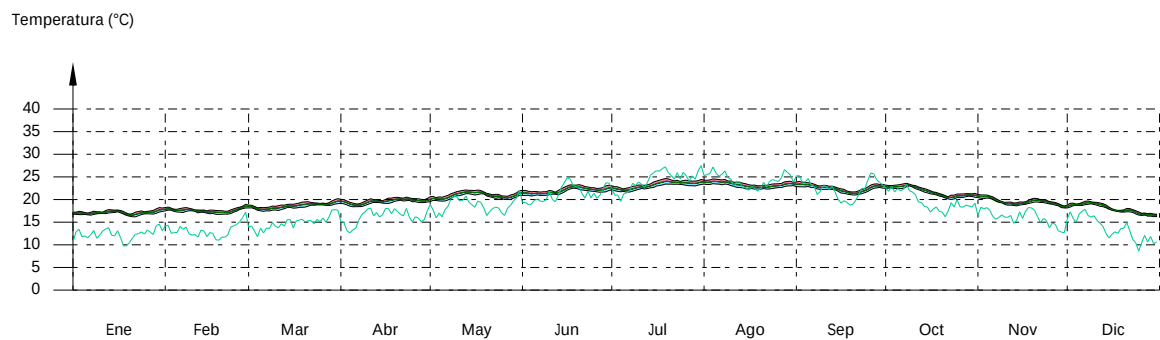
La evolución de la temperatura operativa interior en las zonas modelizadas del edificio objeto de proyecto se muestra en las siguientes gráficas, que muestran la evolución de las temperaturas mínimas, máximas y medias de cada día, en cada zona:

Demanda energética

Zona común



Não habitável



2.4. Resultados numéricos del balance energético por zona y mes.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de transferencia total de calor por transmisión y ventilación, calor interno total, y energía necesaria para calefacción y refrigeración, de cada una de las zonas de cálculo del edificio.

El criterio de signos adoptado consiste en emplear valores positivos para energías aportadas a la zona de cálculo, y negativos para la energía extraída.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m²·año)
Zona común ($A_t = 61.58 \text{ m}^2$; $V = 155.18 \text{ m}^3$)														
Q_{op}	37.6	32.1	32.9	27.4	21.8	36.4	112.8	130.1	85.3	26.8	29.9	33.0	-3101.33	-50.36
Q_w	-352.3	-308.7	-344.4	-325.3	-341.4	-255.5	-274.0	-285.5	-278.2	-333.8	-292.1	-316.2	2785.32	45.23
Q_{ve+inf}	--	--	--	0.1	--	5.0	22.7	21.7	10.1	0.0	--	--	-1251.19	-20.32
Q_{equip}	75.6	68.3	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	890.08	14.45
Q_{lum}	75.6	68.3	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	75.6	73.2	75.6	73.2	75.6	890.08	14.45
Q_{ocup}	68.1	62.5	69.4	67.6	68.1	67.6	69.4	68.1	68.9	68.1	66.2	70.8	814.86	13.23
Q_H	103.6	43.0	7.7	0.1	--	--	--	--	--	--	1.3	68.7	224.40	3.64
Q_C	--	--	--	--	--	-170.2	-315.4	-327.6	-231.7	--	--	--	-1044.91	-16.97
Q_{HC}	103.6	43.0	7.7	0.1	--	170.2	315.4	327.6	231.7	--	1.3	68.7	1269.32	20.61

Demanda energética

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año) (kWh/m²·año)	
Não habitável (A _i = 127.36 m²; V = 187.95 m³)														
Q _{op}	5.4	5.1	6.3	6.1	6.6	6.4	6.7	6.5	5.8	5.2	4.7	4.6	12.10	0.09
	-2.9	-2.9	-4.2	-4.5	-5.1	-5.9	-7.0	-7.3	-6.0	-4.7	-3.8	-3.0		
Q _{ve+inf}	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	1.1	1.1	0.7	0.3	0.1	0.0	-12.95	-0.10
	-2.4	-2.0	-1.9	-1.7	-1.4	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	-1.3	-1.7	-2.2		
Q _{equip}	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.00	0.00
Q _{ilum}	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.00	0.00
Q _{ocup}	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.00	0.00

donde:

A_t : Superficie útil de la zona térmica, m².

V : Volumen interior neto de la zona térmica, m³.

Q_{op} : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/m²·año.

Q_{ve} : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/m²·año.

Q_{ve+inf} : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/m²·año.

Q_{equip} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno, kWh/m²·año.

Q_{illum} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación, kWh/m²·año.

Q_{ocup} : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación, kWh/m²·año.

Q_H : Energía aportada de calefacción, kWh/m²·año.

Q_C : Energía aportada de refrigeración, kWh/m²·año.

Q_{HC} : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/m²·año.

3. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

3.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

	S (m ²)	V (m ³)	ren _h (1/h)	SQ _{ocup,s} (kWh/año)	SQ _{ocup,l} (kWh/año)	SQ _{equip,s} (kWh/año)	SQ _{equip,l} (kWh/año)	SQ _{illum} (kWh/año)	T ⁺ calef. media (°C)	T ⁺ refriger. media (°C)
Zona común (Zona habitable)										
Banheiro	2.58	6.49	0.50	34.11	21.53	37.25	--	37.25	19.0	26.0
Quarto	15.03	37.88	0.50	198.90	125.57	217.26	--	217.26	19.0	26.0
Circulações	8.94	22.53	0.50	118.29	74.68	129.21	--	129.21	19.0	26.0
Jantar-cozinha-sala	32.65	82.27	0.50	432.01	272.74	471.89	--	471.89	19.0	26.0
Hall	2.38	6.01	0.50	31.55	19.92	34.46	--	34.46	19.0	26.0
	61.58	155.18	0.50 / 0.51	814.86	514.44	890.08	--	890.08	19.0	26.0
Não habitável (Zona no habitable)										
Cava	63.68	36.93	0.01	--	--	--	--	--	Oscilación libre	
Cobertura	63.68	151.01	0.01	--	--	--	--	--		
	127.36	187.95	0.01	--	--	--	--	--		

donde:

S : Superficie útil interior del recinto, m².

V : Volumen interior neto del recinto, m³.

ren_h: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.

*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.

$Q_{ocup,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocup,l}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{equip,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{equip,l}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

Q_{illum} : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

Demanda energética

$T^{\circ} \text{ calef.}$ Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de calefacción, °C.
media:

$T^{\circ} \text{ refriger.}$ Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de refrigeración, °C.
media:

Anexo XXIV - (DB-HE) Exigencia basica HE0

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0:
Limitación del consumo energético

ÍNDICE

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA.....	3
1.1. Consumo energético anual por superficie útil de energía primaria no renovable.....	3
1.2. Consumo energético anual por superficie útil de energía primaria total.....	3
1.3. Horas fuera de consigna.....	3
2. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	3
2.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.....	3
2.2. Resultados mensuales.....	4
2.2.1. Consumo de energía final del edificio.....	4
2.2.2. Horas fuera de consigna.....	4
3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.....	4
3.1. Energía eléctrica producida in situ.....	4
3.2. Energía térmica producida in situ.....	4
3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.....	5
4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.....	5
4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.....	5
4.2. Demanda energética de ACS.....	5
5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.....	6
5.1. Zonificación climática.....	6
5.2. Definición de los espacios del edificio.....	6
5.2.1. Agrupaciones de recintos.....	6
5.2.2. Condiciones operacionales.....	7
5.2.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación.....	7
5.3. Procedimiento de cálculo del consumo energético.....	8
5.4. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.....	8

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

1.1. Consumo energético anual por superficie útil de energía primaria no renovable.

$$C_{ep,nren} = 11.76 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} \leq C_{ep,nren,lim} = 25.00 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$



donde:

$C_{ep,nren}$: Valor calculado del consumo de energía primaria no renovable, kWh/m²·año.

$C_{ep,nren,lim}$: Valor límite del consumo de energía primaria no renovable (tabla 3.1.a, CTE DB HE 0), kWh/m²·año.

1.2. Consumo energético anual por superficie útil de energía primaria total.

$$C_{ep,tot} = 36.15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} \leq C_{ep,tot,lim} = 50.00 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$



donde:

$C_{ep,tot}$: Valor calculado del consumo de energía primaria total, kWh/m²·año.

$C_{ep,tot,lim}$: Valor límite del consumo de energía primaria total (tabla 3.2.a, CTE DB HE 0), kWh/m²·año.

1.3. Horas fuera de consigna

$$h_{fc} = 0 \text{ h/año} \leq 0.04 \cdot t_{ocu} = 350.4 \text{ h/año}$$



donde:

h_{fc} : Horas fuera de consigna del edificio al año, h/año.

t_{ocu} : Tiempo total de ocupación del edificio al año, h/año.

2. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

2.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 61.58 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{nren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	236.39	3.84	282.16	4.58	278.16	4.52
Refrigeración	415.68	6.75	553.54	8.99	196.93	3.20
ACS	690.51	11.21	690.50	11.21	--	--
Ventilación	525.60	8.54	699.92	11.37	248.97	4.04
	1868.18	30.34	2226.11	36.15	724.06	11.76

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.

EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.

EP_{nren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

2.2. Resultados mensuales.

2.2.1. Consumo de energía final del edificio.

		Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)	Año (kWh/m ² ·año)
EDIFICIO (S _u = 61.58 m ²)															
Demanda energética	Calefacción	103.6	43.0	7.7	0.1	--	--	--	--	--	--	1.3	68.7	224.4	3.6
	Refrigeración	--	--	--	--	--	170.2	315.4	327.6	231.7	--	--	--	1044.9	17.0
	ACS	69.5	62.8	66.5	61.5	57.5	49.7	45.4	45.4	46.8	54.4	61.5	69.5	690.5	11.2
	TOTAL	173.2	105.8	74.2	61.6	57.5	220.0	360.7	373.0	278.5	54.4	62.7	138.3	1959.8	31.8
Medioambiente	Calefacción	1.0	0.5	0.1	0.0	--	--	--	--	--	--	0.0	0.6	2.2	0.0
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	ACS	69.5	62.8	66.5	61.5	57.5	49.7	45.4	45.4	46.8	54.4	61.5	69.5	690.5	11.2
Electricidad	Calefacción	0.3	0.2	0.0	0.0	--	--	--	--	--	--	0.0	0.2	0.7	0.0
	Refrigeración	--	--	--	--	--	0.2	0.2	0.2	0.2	--	--	--	0.8	0.0
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Ventilación	44.6	40.3	44.6	43.2	44.6	43.2	44.6	44.6	43.2	44.6	43.2	44.6	525.6	8.5
	Control de la humedad	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	67.3	125.2	130.4	92.1	--	--	--	414.9	6.7
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Gas natural (Sistema de sustitución)	Calefacción	108.1	44.8	7.9	--	--	--	--	--	--	--	1.2	71.4	233.5	3.8
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
C _{ef,tot}		223.6	148.6	119.2	104.7	102.1	160.4	215.4	220.6	182.3	99.1	105.9	186.4	1868.2	30.3

donde:

S_u: Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

C_{ef,tot}: Consumo total de energía en punto de consumo, kWh/m²·año.

2.2.2. Horas fuera de consigna

Se indica el número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios habitables acondicionados del edificio se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1°C para calefacción y 1°C para refrigeración. Se considera que el edificio se encuentra fuera de consigna cuando cualquiera de dichos espacios lo está.

Zonas acondicionadas		Ene (h)	Feb (h)	Mar (h)	Abr (h)	May (h)	Jun (h)	Jul (h)	Ago (h)	Sep (h)	Oct (h)	Nov (h)	Dic (h)	Año (h)
Zona común	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Edificio	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOTAL	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.

3.1. Energía eléctrica producida in situ.

Sistema de producción	Origen	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh)
Energía Solar Térmica	Renovable	79.0	81.0	98.0	93.0	96.0	91.0	91.0	91.0	90.0	92.0	82.0	77.0	1061.0
TOTAL		79.0	81.0	98.0	93.0	96.0	91.0	91.0	91.0	90.0	92.0	82.0	77.0	1061.0

3.2. Energía térmica producida in situ.

Sistema de producción	Servicio	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh)
Energía térmica renovable	ACS	69.5	62.8	66.5	61.5	57.5	49.7	45.4	45.4	46.8	54.4	61.5	69.5	690.5
TOTAL		69.5	62.8	66.5	61.5	57.5	49.7	45.4	45.4	46.8	54.4	61.5	69.5	690.5

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.

Se indica la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio que procede de fuentes renovables no fósiles, como son la biomasa, la electricidad consumida que se produce en el edificio a partir de fuentes renovables y la energía térmica captada del medioambiente.

EDIFICIO ($S_u = 61.58 \text{ m}^2$)

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año	
													(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Electricidad autoconsumida de origen renovable	44.9	40.5	44.7	43.2	44.6	91.0	91.0	91.0	90.0	44.6	43.2	44.8	713.6	11.6
Medioambiente	70.6	63.3	66.6	61.5	57.5	49.8	45.4	45.4	46.8	54.4	61.5	70.2	692.8	11.2
Biomasa	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Biomasa densificada (pellets)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.

La demanda energética del edificio que debe satisfacerse en el cálculo del consumo de energía primaria, magnitud de control conforme a la exigencia de limitación del consumo energético HE 0, corresponde a la suma de la energía demandada de calefacción, refrigeración y ACS del edificio según las condiciones operacionales definidas.

4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.

La demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio se obtiene mediante el procedimiento de cálculo descrito en el apartado 5.3, determinando para cada hora el consumo energético de un sistema ideal con potencia instantánea e infinita con rendimiento unitario.

Se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u (m ²)	D_{cal} (kWh/año)	D_{cal} (kWh/m ² ·año)	D_{ref} (kWh/año)	D_{ref} (kWh/m ² ·año)
Zona común	61.58	224.40	3.64	1044.91	16.97
	61.58	224.40	3.64	1044.91	16.97

donde:

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{cal} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/año.

D_{ref} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

4.2. Demanda energética de ACS.

La demanda energética correspondiente a los servicios de agua caliente sanitaria de las zonas habitables del edificio se determina conforme a las indicaciones del apartado 4.1.8 de CTE DB HE 0.

El salto térmico utilizado en el cálculo de la energía térmica necesaria se realiza entre una temperatura de referencia definida en la zona, y la temperatura del agua de red en el emplazamiento del edificio proyectado, de valores:

	Ene (°C)	Feb (°C)	Mar (°C)	Abr (°C)	May (°C)	Jun (°C)	Jul (°C)	Ago (°C)	Sep (°C)	Oct (°C)	Nov (°C)	Dic (°C)
Temperatura del agua de red	12.0	12.0	13.0	14.0	16.0	18.0	20.0	20.0	19.0	17.0	14.0	12.0

Se muestran a continuación los resultados del cálculo de la demanda energética de ACS para cada zona habitable del edificio, junto con las demandas diarias.

Zonas habitables	Q_{ACS} (l/día)	T_{ref} (°C)	S_u (m ²)	D_{ACS} (kWh/año)	D_{ACS} (kWh/m ² ·año)
Zona común	80.0	35.0	61.58	690.49	11.21
	80.0		61.58	690.49	11.21

donde:

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

Q_{ACS} : Caudal diario demandado de agua caliente sanitaria, l/día.

T_{ref} : Temperatura de referencia, °C.

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{ACS} : Demanda energética correspondiente al servicio de agua caliente sanitaria incluyendo pérdidas por acumulación, distribución y recirculación, kWh/m²·año.

5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

5.1. Zonificación climática

El edificio objeto del proyecto se sitúa en el municipio de Faro (provincia de Alcoutim), con una altura sobre el nivel del mar de 30.000 m. Le corresponde, conforme al Anejo B de CTE DB HE, la zona climática A4.

La pertenencia a dicha zona climática define las solicitudes exteriores para el procedimiento de cálculo, mediante la determinación del clima de referencia asociado, publicado en formato informático (fichero MET) por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, del Ministerio de Fomento.

5.2. Definición de los espacios del edificio.

5.2.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

	S (m ²)	V (m ³)	ren _h (1/h)	SQ _{ocup,s} (kWh/año)	SQ _{ocup,i} (kWh/año)	SQ _{equip,s} (kWh/año)	SQ _{equip,i} (kWh/año)	SQ _{ilum} (kWh/año)	Perfil de uso	Condiciones operacionales
Zona común (Zona habitable acondicionada)										
Banheiro	2.58	6.49	0.50	34.11	21.53	37.25	--	37.25	Residencial	Residencial
Quarto	15.03	37.88	0.50	198.90	125.57	217.26	--	217.26		
Circulações	8.94	22.53	0.50	118.29	74.68	129.21	--	129.21		
Jantar-cozinha-sala	32.65	82.27	0.50	432.01	272.74	471.89	--	471.89		
Hall	2.38	6.01	0.50	31.55	19.92	34.46	--	34.46		
	61.58	155.18	0.50/0.51*	814.86	514.44	890.08	--	890.08		
Não habitável (Zona no habitable)										
Cava	63.68	36.93	0.01	--	--	--	--	--	-	Oscilación libre
Cobertura	63.68	151.01	0.01	--	--	--	--	--		
	127.36	187.95	0.01	--	--	--	--	--		

donde:

S : Superficie útil interior del recinto, m².

V : Volumen interior neto del recinto, m³.

ren_h: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.

*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.

$Q_{ocup,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocup,i}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{equip,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{equip,i}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

Q_{ilum} : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

5.2.2. Condiciones operacionales

		Distribución horaria																								
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
Perfil: Residencial (Uso residencial)																										
Temp. Consigna Alta (°C)																										
Enero a Mayo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre		27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27
Octubre a Diciembre		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp. Consigna Baja (°C)																										
Enero a Mayo		17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Junio a Septiembre		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre		17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17

5.2.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación

		Distribución horaria																								
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
Perfil: Residencial (Uso residencial)																										
Ocupación sensible (W / m²)																										
Laboral Sábado y Festivo	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Ocupación latente (W / m²)																										
Laboral Sábado y Festivo	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Iluminación (W / m²)																										
Laboral, Sábado y Festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	4.40	2.2	
Equipos (W / m²)																										
Laboral, Sábado y Festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	4.40	2.2	
Ventilación (ren/h)																										
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ventilación verano (junio a septiembre) (ren/h)																										
Laboral, Sábado y Festivo	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

donde:

*: Número de renovaciones por hora del aire de la zona.

Ventilación: En las zonas en las que se ha seleccionado la opción de ventilación natural en verano, se aplica el perfil "Ventilación verano" entre los meses de junio y septiembre. El resto del año, se aplica el perfil "Ventilación".

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético

5.3. Procedimiento de cálculo del consumo energético.

El procedimiento de cálculo empleado tiene como objetivo determinar el consumo de energía primaria del edificio procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Para ello, se ha empleado el documento reconocido CYPETHERM HE Plus. Mediante dicho programa, se realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo térmico zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™ versión 9.1, en la que, hora a hora, se realiza el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico para mantener las condiciones operacionales definidas, determinando, para cada equipo técnico, su punto de trabajo, la energía útil aportada y la energía final consumida, desglosando el consumo energético por equipo, servicio técnico y vector energético utilizado.

El cálculo de la energía primaria que corresponde a la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio, teniendo en cuenta la contribución de la energía producida in situ, se realiza mediante el programa CteEPBD integrado en CYPETHERM HE Plus, desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio con el Ministerio de Fomento, que implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017.

La metodología descrita considera los aspectos recogidos en el apartado 4.1 de CTE DB HE 0.

5.4. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.

Los factores de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables y no renovables corresponden a los publicados en el Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) 'Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España', conforme al apartado 4.1.5 de CTE DB HE0. Los valores empleados se han obtenido a través del programa CteEPBD.

Para las fuentes de energía utilizadas en el edificio que no se encuentran definidas en dicho documento, se han considerado los factores de conversión correspondientes a los vectores energéticos "Red 1" y "Red 2".

Vector energético	$f_{cep,nren}$	$f_{cep,ren}$
Medioambiente	0	1.000
Gas natural	1.190	0.005
Electricidad producida in situ	0	1.000
Electricidad obtenida de la red	1.954	0.414

donde:

$f_{cep,nren}$: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.

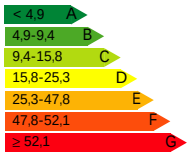
$f_{cep,ren}$: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables.

Anexo XXV - (DB-HE) Calificación energética del edificio

Calificación energética del edificio

Zona climática	A4	Uso	Residencial privado

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

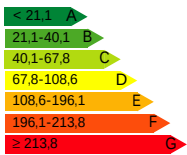
INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES		
	CALEFACCIÓN		ACS
	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	A	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	0.96		0
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN
Emisiones globales[kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	A	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	0.54		-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ / m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	1.23	75.59
Emisiones CO2 por otros combustibles	0.96	58.84

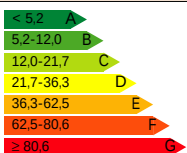
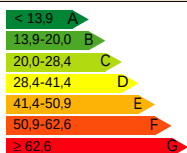
2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES		
	CALEFACCIÓN		ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	A	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	4.52		0
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN
Consumo global de energía primaria no renovable[kWh/m ² ·año] ¹	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	A	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	3.2		-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	
Demanda de calefacción[kWh/m ² ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

Anexo XXVI

(DB-HE) Descripción de materiales y elementos constructivos

Descripción de materiales y elementos constructivos

UNE EN ISO 6946
UNE EN ISO 10077
UNE EN ISO 13370
UNE EN ISO 10456

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE.....	4
1.1. Suelos en contacto con el terreno.....	4
1.1.1. Soleras.....	4
1.2. Muros en contacto con el terreno.....	4
1.3. Fachadas.....	5
1.3.1. Parte ciega de las fachadas.....	5
1.3.2. Huecos en fachada.....	5
1.4. Cubiertas.....	6
1.4.1. Parte maciza de las azoteas.....	6
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN.....	8
2.1. Compartimentación interior vertical.....	8
2.1.1. Parte ciega de la compartimentación interior vertical.....	8
2.2. Compartimentación interior horizontal.....	9
3. MATERIALES.....	11

1. SISTEMA ENVOLVENTE

Descripción de materiales y elementos constructivos

1. SISTEMA ENVOLVENTE

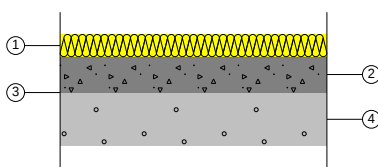
1.1. Suelos en contacto con el terreno

1.1.1. Soleras

S-PVE0-1

Superficie total 63.68 m²

S-PVE0-1



Listado de capas:

1 - Poliestireno expandido (EPS)	5.00 cm
2 - Betão normal	8.00 cm
3 - Lamina de PVC	0.10 cm
4 - Areia e Brita	11.90 cm

Características

Transmitancia térmica, U: 0.36 W/(m²·K)

Espesor total 25.00 cm

Longitud característica, B': 4.200 m

Resistencia térmica del forjado, Rf: 1.31 (m²·K)/W

Superficie del forjado, A: 70.56 m²

Perímetro del forjado, P: 33.600 m

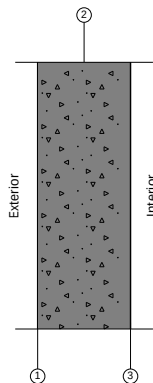
Conductividad térmica, λ: 2.000 W/(m·K)

1.2. Muros en contacto con el terreno

S-PDE1-0

Superficie total 18.51 m²

S-PDE1-0



Listado de capas:

1 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
2 - Betão isolante resistente com areia do rio	20.80 cm
3 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm

Características

Transmitancia térmica, U: 1.06 W/(m²·K)

Espesor total 21.00 cm

Descripción de materiales y elementos constructivos

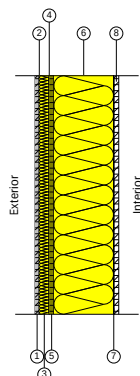
1.3. Fachadas

1.3.1. Parte ciega de las fachadas

E-PD1-1

Superficie total 87.13 m²

E-PD1-1



Listado de capas:

1 - Reboco com textura e pintura	1.00 cm
2 - Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.10 cm
3 - Poliestireno expandido (EPS)	2.40 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
5 - Painés de lamelas longas (OSB)	1.10 cm
6 - Lã de rocha (MW) +LSF	15.00 cm
7 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
8 - Placa de gesso cartonado	1.20 cm

Características Transmitancia térmica, U: 0.21 W/(m²·K)
Espesor total 21.00 cm

1.3.2. Huecos en fachada

E-VE1-L1

E-VE1-L1

Características Transmitancia térmica, U: 0.60 W/(m²·K)
Factor solar, g: 0.200
Fracción opaca, Ff: 0.050
Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, g_{gl;sh,wi}: 0.03

E-VE1-S1

E-VE1-S1

Características Transmitancia térmica, U: 0.60 W/(m²·K)
Factor solar, g: 0.200
Fracción opaca, Ff: 0.050
Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, g_{gl;sh,wi}: 0.03

E-VE1-O1

E-VE1-O1

Características Transmitancia térmica, U: 0.60 W/(m²·K)
Factor solar, g: 0.200
Fracción opaca, Ff: 0.050
Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, g_{gl;sh,wi}: 0.03

Descripción de materiales y elementos constructivos

1.4. Cubiertas

1.4.1. Parte maciza de las azoteas

E-CO2-1

Superficie total 87.94 m²

E-CO2-1

Listado de capas:		
①	1 - Telha de Argila Cozida	1.40 cm
	2 - Camera de Ar	3.00 cm
③	3 - Poliestireno extrudido (XPS)	15.00 cm
⑤	4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
	5 - Poliestireno expandido (EPS) + LSF	4.00 cm
⑥	6 - Placa de gesso cartonado	1.50 cm

Características

Transmitancia térmica, U: 0.18 W/(m²·K)

Espesor total 25.00 cm

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN

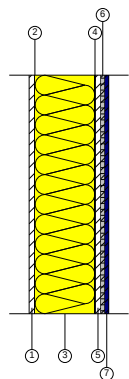
2.1. Compartimentación interior vertical

2.1.1. Parte ciega de la compartimentación interior vertical

I-PD1-2

Superficie total 16.29 m²

I-PD1-2



Listado de capas:

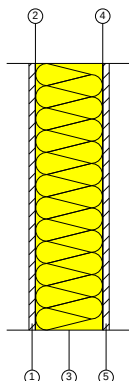
1 - Placa de gesso cartonado	1.40 cm
2 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
3 - Lã de rocha (MW) + LSF	15.00 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
5 - Placas de yeso armado con fibras minerales 800 < d < 1000	1.40 cm
6 - Argamassa e reboco de cal e areia	1.00 cm
7 - Placa de gesso cartonado	1.00 cm

Características Transmitancia térmica, U: 0.24 W/(m²·K)
Espesor total 20.00 cm

I-PD1-1

Superficie total 12.54 m²

I-PD1-1



Listado de capas:

1 - Placa de gesso cartonado	1.40 cm
2 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
3 - Lã de rocha (MW)	15.00 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10 cm
5 - Placa de gesso cartonado	1.40 cm

Características Transmitancia térmica, U: 0.24 W/(m²·K)
Espesor total 18.00 cm

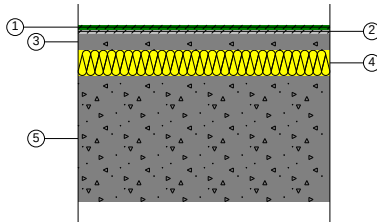
Descripción de materiales y elementos constructivos

2.2. Compartimentación interior horizontal

I-PV1-1

Superficie total 61.26 m²

I-PV1-1



Listado de capas:

1 - Piso Terminado	1.00 cm
2 - Nivelador	1.00 cm
3 - Contra Piso	4.00 cm
4 - Poliestireno expandido (EPS)	6.00 cm
5 - Piso de Fundação com Armadura	30.00 cm

Características

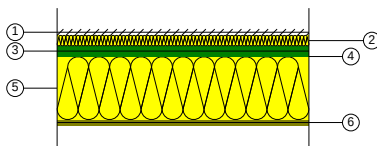
Transmitancia térmica, U: 0.49 W/(m²·K)

Espesor total 42.00 cm

I-PV2-1

Superficie total 61.26 m²

I-PV2-1



Listado de capas:

1 - Placa de gesso cartonado	1.50 cm
2 - Lã de rocha (MW)	2.50 cm
3 - OSB multilaminado	2.50 cm
4 - Neopreno (policloropreno)	0.10 cm
5 - Lã de rocha (MW) + LSF	15.00 cm
6 - Painés de lamelas longas (OSB)	1.40 cm

Características

Transmitancia térmica, U: 0.20 W/(m²·K)

Espesor total 23.00 cm

3. MATERIALES

Descripción de materiales y elementos constructivos

3. MATERIALES

Capas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Reboco com textura e pintura	1.00	1200.00	0.550	0.02	1000.00
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.10	1450.00	0.300	0.00	1000.00
Poliestireno expandido (EPS)	2.40	14.00	0.042	0.57	1000.00
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.10	1100.00	0.230	0.00	1000.00
Painés de lamelas longas (OSB)	1.10	650.00	0.130	0.08	1000.00
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	50.00	0.040	3.75	1000.00
Placa de gesso cartonado	1.20	1000.00	0.250	0.05	1000.00
Placa de gesso cartonado	1.40	900.00	0.250	0.06	1000.00
Lã de rocha (MW) + LSF	15.00	50.00	0.040	3.75	1000.00
Placas de yeso armado con fibras minerales 800 < d < 1000	1.40	900.00	0.250	0.06	1000.00
Argamassa e reboco de cal e areia	1.00	1600.00	0.800	0.01	1000.00
Placa de gesso cartonado	1.00	2300.00	1.300	0.01	1000.00
Lã de rocha (MW)	15.00	50.00	0.040	3.75	1000.00
Betão isolante resistente com areia do rio	20.80	1200.00	0.700	0.30	1000.00
Telha de Argila Cozida	1.40	1500.00	0.650	0.02	1000.00
Poliestireno extrudido (XPS)	15.00	40.00	0.037	4.05	1000.00
Poliestireno expandido (EPS) + LSF	4.00	14.00	0.042	0.95	1000.00
Placa de gesso cartonado	1.50	1000.00	0.250	0.06	1000.00
Piso Terminado	1.00	1600.00	0.800	0.01	1000.00
Nivelador	1.00	1200.00	0.550	0.02	1000.00
Contra Piso	4.00	2400.00	2.000	0.02	1000.00
Poliestireno expandido (EPS)	6.00	20.00	0.042	1.43	1000.00
Piso de Fundação com Armadura	30.00	1500.00	0.850	0.35	1000.00
Lã de rocha (MW)	2.50	50.00	0.040	0.63	1000.00
OSB multilaminado	2.50	600.00	0.140	0.18	1000.00
Neopreno (policloropreno)	0.10	1240.00	0.230	0.00	1000.00
Painés de lamelas longas (OSB)	1.40	650.00	0.130	0.11	1000.00
Poliestireno expandido (EPS)	5.00	14.00	0.042	1.19	1000.00
Betão normal	8.00	2300.00	1.650	0.05	1000.00
Lamina de PVC	0.10	1200.00	0.140	0.01	1000.00
Areia e Brita	11.90	1700.00	2.000	0.06	1000.00
Abreviaturas utilizadas					
e	Espesor cm	RT	Resistencia térmica ($m^2 \cdot K$)/W		
ρ	Densidad kg/m^3	Cp	Calor específico J/(kg·K)		
λ	Conductividad térmica W/(m·K)				

Anexo XXVII - (DB-HE) Cálculo del factor de reduccion

Cálculo del factor de reducción

UNE EN ISO 13789

ÍNDICE

1. MÉTODO DE CÁLCULO.....	3
2. RECINTOS NO CALEFACTADOS.....	4
3. RECINTO Z02_S01_CAVA.....	5
4. RECINTO Z02_S02_COBERTURA.....	7

Cálculo del factor de reducción

1. MÉTODO DE CÁLCULO

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

donde:

H_{iu} coeficiente de pérdida del espacio calefactado hacia el espacio no calefactado

H_{ue} coeficiente de pérdida del espacio no calefactado al exterior

H_{iu} , H_{ue} incluyen las pérdidas por transmisión y por renovación de aire

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu}$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue}$$

Siendo:

$$L_{iu} = L_{Diu} + L_{siu}$$

$$L_{ue} = L_{Due} + L_{sue}$$

donde:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k$$

Siendo:

A_i área del elemento 'i' del edificio (m^2)

U_i coeficiente de transmisión térmica del elemento 'i' del edificio

l_k longitud del puente térmico lineal 'k' (m)

Ψ_k coeficiente de transmisión térmica lineal del puente térmico 'k'

L_s coeficiente de pérdida por el suelo en régimen estacionario, calculado según la norma UNE EN ISO 13370 (W/K)

$$H_{V,iu} = \rho c \dot{V}_{iu}$$

$$H_{V,ue} = \rho c \dot{V}_{ue}$$

donde:

ρ densidad del aire (kg/m^3)

c capacidad calorífica específica del aire ($J/(kg \cdot K)$)

ρc valor convencional para la capacidad calorífica del aire ($1200 J/(m^3 \cdot K)$)

$\dot{V}_{ue}$ consumo de aire entre el espacio no calefactado y el exterior (m^3/h)

$\dot{V}_{iu}$ consumo de aire entre el espacio calefactado y el no calefactado (m^3/h)

Siendo:

$$\dot{V}_{iu} = 0$$

$$\dot{V}_{ue} = V_u n_{ue}$$

donde:

V_u volumen de aire en el espacio no calefactado (m^3)

n_{ue} tasa de renovación de aire convencional entre el espacio no calefactado y el exterior (v/h)

Cálculo del factor de reducción

2. RECINTOS NO CALEFACTADOS

Recinto	Factor de reducción
Z02_S01_Cava	0.62
Z02_S02_Cobertura	0.71

Cálculo del factor de reducción

3. RECINTO Z02_S01_CAVA

Cálculo del coeficiente de acoplamiento entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (L_{iu})

Cubiertas interiores (techos sobre espacios no calefactados)	Área (m ²)	U (W / (m ² ·K))	U·A (W / K)
Z02_S01_F01	2.58	0.49	1.27
Z02_S01_F02	14.95	0.49	7.36
Z02_S01_F03	8.85	0.49	4.36
Z02_S01_F04	32.53	0.49	16.01
Z02_S01_F05	2.35	0.49	1.16
		TOTAL	30.15

Coeficiente de acoplamiento entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (L_{iu}) (W / K)

30.15

Cálculo del coeficiente de acoplamiento entre el espacio no calefactado y el exterior (L_{ue})

Tabiques en contacto con el exterior del espacio no calefactado	Área (m ²)	U (W / (m ² ·K))	U·A (W / K)
Z02_S01_W01	4.63	1.06	4.89
Z02_S01_W02	4.63	1.06	4.89
Z02_S01_W03	4.63	1.06	4.89
Z02_S01_W04	4.63	1.06	4.89
		TOTAL	19.58

Pavimentos en contacto con el exterior del espacio no calefactado	Área (m ²)	U (W / (m ² ·K))	U·A (W / K)
Z02_S01_F01	63.68	0.36	23.07
		TOTAL	23.07

Cálculo del factor de reducción

Puentes térmicos lineales entre el espacio no calefactado y el exterior	Longitud (m)	Y (W / (m·K))	Y·l (W / K)
Z02_S01_TB01	7.980	0.10	0.80
Z02_S01_TB02	7.980	0.10	0.80
Z02_S01_TB03	7.980	0.10	0.80
Z02_S01_TB04	7.980	0.10	0.80
Z02_S01_TB05	0.580	0.10	0.06
Z02_S01_TB06	0.580	0.10	0.06
Z02_S01_TB07	0.580	0.10	0.06
Z02_S01_TB08	0.580	0.10	0.06
Z02_S01_TB09	2.010	0.10	0.20
Z02_S01_TB10	5.975	0.10	0.60
Z02_S01_TB11	1.181	0.10	0.12
Z02_S01_TB12	3.019	0.10	0.30
Z02_S01_TB13	1.796	0.10	0.18
Z02_S01_TB14	5.008	0.10	0.50
Z02_S01_TB15	4.966	0.10	0.50
Z02_S01_TB16	4.788	0.10	0.48
Z02_S01_TB17	3.022	0.10	0.30
		TOTAL	6.60

Coeficiente de acoplamiento entre el espacio no calefactado y el exterior (L_{ue}) (W / K) 49.25

Cálculo de las pérdidas por transmisión y por renovación de aire entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (H_{iu})

$H_{v,iu}$	0.00
	+
L_{iu}	30.15
	=
Perdidas por transmisión y por renovación de aire (H_{iu}) (W / K)	30.15

Cálculo de las pérdidas por transmisión y por renovación de aire entre el espacio no calefactado y el exterior (H_{ue})

$H_{v,ue}$ ($V_u = 36.93 \text{ m}^3$; $n_{ue} = 0.00 \text{ v/h}$)	0.00
	+
L_{ue}	49.25
	=
Perdidas por transmisión y por renovación de aire (H_{ue}) (W / K)	49.25

Factor de reducción

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = 0.62$$

Cálculo del factor de reducción

4. RECINTO Z02_S02_COBERTURA

Cálculo del coeficiente de acoplamiento entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (L_{iu})

Pavimentos sobre espacios no calefactados	Área (m^2)	U ($W / (m^2 \cdot K)$)	U·A (W / K)
Z02_S02_F01	2.35	0.20	0.48
Z02_S02_F02	8.85	0.20	1.80
Z02_S02_F03	2.58	0.20	0.52
Z02_S02_F04	32.53	0.20	6.60
Z02_S02_F05	14.95	0.20	3.04
TOTAL			12.44

Coeficiente de acoplamiento entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (L_{iu})
(W / K)

12.44

Cálculo del coeficiente de acoplamiento entre el espacio no calefactado y el exterior (L_{ue})

Tabiques en contacto con el exterior del espacio no calefactado	Área (m^2)	U ($W / (m^2 \cdot K)$)	U·A (W / K)
Z02_S02_W01	8.82	0.21	1.89
Z02_S02_W02	8.42	0.21	1.81
Z02_S02_W03	8.82	0.21	1.89
Z02_S02_W04	8.82	0.21	1.89
TOTAL			7.49

Cubiertas del espacio no calefactado en contacto con el exterior	Área (m^2)	U ($W / (m^2 \cdot K)$)	U·A (W / K)
Z02_S02_F06	21.98	0.18	4.06
Z02_S02_F07	21.98	0.18	4.06
Z02_S02_F08	21.98	0.18	4.06
Z02_S02_F09	21.98	0.18	4.06
TOTAL			16.25

Cálculo del factor de reducción

Puentes térmicos lineales entre el espacio no calefactado y el exterior	Longitud (m)	Y (W / (m·K))	Y·l (W / K)
Z02_S02_TB01	2.010	0.12	0.25
Z02_S02_TB02	5.971	0.12	0.73
Z02_S02_TB03	1.186	0.12	0.15
Z02_S02_TB04	3.019	0.12	0.37
Z02_S02_TB05	1.586	0.12	0.20
Z02_S02_TB06	4.998	0.50	2.50
Z02_S02_TB07	4.961	0.12	0.61
Z02_S02_TB08	4.788	0.12	0.59
Z02_S02_TB09	3.022	0.12	0.37
Z02_S02_TB10	1.105	0.03	0.03
Z02_S02_TB11	1.105	0.03	0.03
Z02_S02_TB12	1.105	0.03	0.03
Z02_S02_TB13	1.030	0.03	0.03
Z02_S02_TB14	7.980	0.04	0.33
Z02_S02_TB15	7.980	0.04	0.33
Z02_S02_TB16	7.980	0.04	0.33
Z02_S02_TB17	7.980	0.04	0.33
		TOTAL	7.18

Coeficiente de acoplamiento entre el espacio no calefactado y el exterior (L_{ue}) (W / K) 30.93

Cálculo de las pérdidas por transmisión y por renovación de aire entre el espacio calefactado y el espacio no calefactado (H_{iu})

$H_{v,iu}$	0.00
	+
L_{iu}	12.44
	=
Perdidas por transmisión y por renovación de aire (H_{iu}) (W / K)	12.44

Cálculo de las pérdidas por transmisión y por renovación de aire entre el espacio no calefactado y el exterior (H_{ue})

$H_{v,ue}$ ($V_u = 151.01 \text{ m}^3$; $n_{ue} = 0.00 \text{ v/h}$)	0.00
	+
L_{ue}	30.93
	=
Perdidas por transmisión y por renovación de aire (H_{ue}) (W / K)	30.93

Factor de reducción

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = 0.71$$

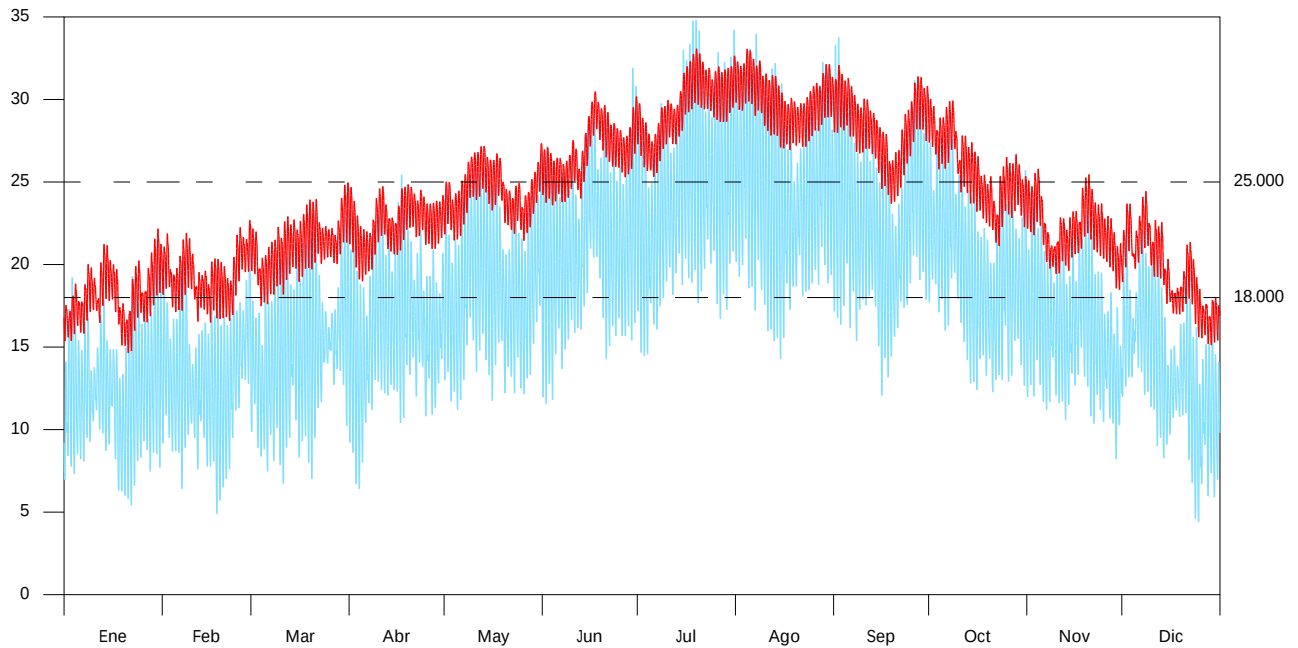
Anexo XXVIII - (DB-HE) Confort interior

Confort interior

Confort interior

Z01_ZONA COMÚN

Temperatura (°C)



■ Temperatura exterior
■ Temperatura del aire interior de la zona

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima de confort (25.0 °C)													
$T_{int,max}$ (°C)	22.2	22.7	25.0	24.8	27.3	30.5	33.1	33.1	32.1	30.0	25.8	24.4	33.1
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	232	616	744	744	676	450	27	0	3489
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupación)	0	0	0	0	232	616	744	744	676	450	27	0	3489
Temperatura mínima de confort (18.0 °C)													
$T_{int,min}$ (°C)	14.6	16.5	17.5	19.0	21.4	23.6	25.3	26.9	23.7	21.1	18.5	15.1	14.6
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	382	126	11	0	0	0	0	0	0	0	0	232	751
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupación)	382	126	11	0	0	0	0	0	0	0	0	232	751
Horas fuera de consigna*													
Calefacción (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Calefacción (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Refrigeración (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Refrigeración (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

*Número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios de la zona se sitúa fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1 °C para calefacción y 1 °C para refrigeración.

donde:

T_{int} : Temperatura del aire interior de la zona, °C.
 $T_{int,max}$: Temperatura máxima del aire interior de la zona, °C.
 $T_{int,min}$: Temperatura mínima del aire interior de la zona, °C.
 $T_{max,conf}$: Temperatura máxima de confort, °C.
 $T_{min,conf}$: Temperatura mínima de confort, °C.

Anexo XXVIX - (DB-HE) Condensaciones

Condensaciones

UNE EN ISO 13788

ÍNDICE

1. ZONA COMÚN.....	3
1.1. E-PD1-1.....	3
1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....	3
1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....	3
1.1.3. Descripción del elemento constructivo.....	4
1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica.....	5
1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....	5
1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....	7

Condensaciones

ZONA COMÚN

1.1. E-PD1-1

1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

1.1.1.1. Condensación superficial

$f_{Rsi} = 0.946$ $f_{Rsi,min} = 0.818$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

f_{Rsi} : Factor de resistencia superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, donde $U = 0.215 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de $j_{si,cr}$ ≤ 0.6 .

1.1.1.2. Condensación intersticial

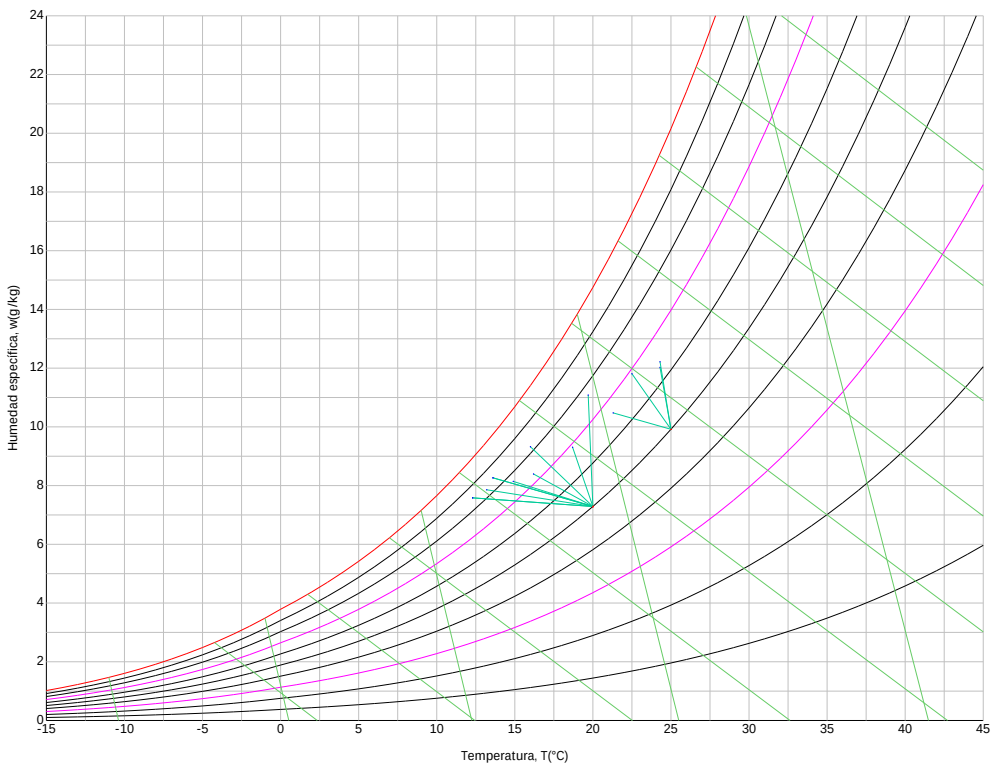
El elemento constructivo no presenta condensaciones intersticiales.

1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Condiciones exteriores													
Temperatura, θ_e	(°C)	12.3	13.2	14.9	16.2	18.7	21.3	24.3	24.3	22.5	19.7	16.0	13.6
Humedad relativa, ϕ_e	(%)	85	83	77	73	69	66	63	64	69	77	82	85
Condiciones interiores													
Temperatura, θ_i	(°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0
Humedad relativa, ϕ_i	(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

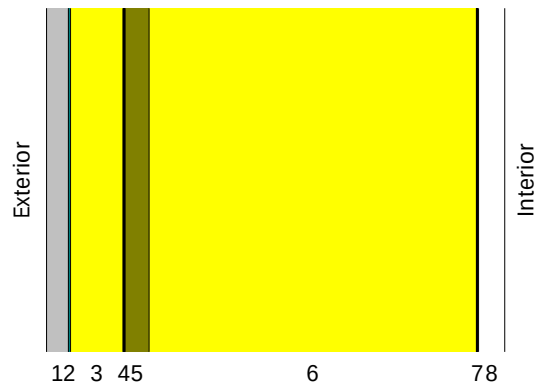
El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 30 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.



Condensaciones

1.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:



Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

E-PD1-1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	m	S _d (m)
R _{se}		0.04				
1	Reboco com textura e pintura	1.0	0.550	0.01818	1	0.01
2	Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.1	0.300	0.00333	1	0.001
3	Poliestireno expandido (EPS)	2.4	0.042	0.57143	1	0.024
4	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	0.230	0.00435	1	0.001
5	Painés de lamelas longas (OSB)	1.1	0.130	0.08462	1	0.011
6	Lã de rocha (MW) +LSF	15.0	0.040	3.75000	1	0.15
7	Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	0.230	0.00435	1	0.001
8	Placa de gesso cartonado	1.2	0.250	0.04800	1	0.012
R _{si}		0.13				

donde:

- e: Espesor, cm.
- l: Conductividad térmica del material, W/(m·K).
- R: Resistencia térmica del material, m²·K/W.
- m: Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.
- S_d: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.
- R_{se}: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m²·K/W.
- R_{si}: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m²·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

Magnitud	Uds.	Valor
Espesor total del elemento, e _T	cm	21.0
Resistencia térmica total, R _T	m ² ·K/W	4.6543
Espesor de aire equivalente total, S _{d,T}	m	0.21
Transmitancia térmica, U	W/(m ² ·K)	0.215
Factor de resistencia superficial interior, f _{Rsi}	--	0.946

donde:

- E_T: Espesor total del elemento, cm.
- R_T: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales R_{se} y R_{si}, m²·K/W.
- S_{d,T}: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.
- U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m²·K).
- f_{Rsi}: Factor de resistencia superficial interior, calculado como (1 - U·R_{si}), donde U = 0.215 W/m²·K y R_{si} = 0.25 m²·K/W.

Condensaciones

1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de $j_{si,cr} \leq 0.6$.

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de $f_{Rsi,min}$ queda como sigue:

	q_e (°C)	j_e (%)	q_i (°C)	j_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Enero	12.3	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.818
Febrero	13.2	83.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.794
Marzo	14.9	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.726
Abril	16.2	73.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.632
Mayo	18.7	69.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Junio	21.3	66.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.607
Julio	24.3	63.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Agosto	24.3	64.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.000
Septiembre	22.5	69.0	25.0	55.0	1741.26	2902.09	23.5	0.419
Octubre	19.7	77.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.000
Noviembre	16.0	82.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.650
Diciembre	13.6	85.0	20.0	55.0	1285.32	2142.21	18.6	0.782

donde:

q_e : Temperatura del aire exterior, °C.

j_e : Humedad relativa del aire exterior, %.

q_i : Temperatura del aire interior, °C.

j_i : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

P_i : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$: Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$q_{si,min}$: Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que $f_{Rsi} = 0.946 > f_{Rsi,min} = 0.818$, no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

Condensaciones

E-PD1-1	q (°C)	P_{sat} (Pa)	P_n (Pa)	j (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_a (g/m ²)
Aire exterior	12.30	1429.778	1215.312	85.0		
Cara exterior	12.37	1436.014	1215.312	84.6	--	--
Interfase 1-2	12.40	1438.856	1213.081	84.3	--	--
Interfase 2-3	12.40	1439.378	1212.858	84.3	--	--
Interfase 3-4	13.35	1531.289	1207.506	78.9	--	--
Interfase 4-5	13.35	1532.008	1207.283	78.8	--	--
Interfase 5-6	13.49	1546.052	1204.829	77.9	--	--
Interfase 6-7	19.70	2293.667	1171.375	51.1	--	--
Interfase 7-8	19.71	2294.690	1171.152	51.0	--	--
Cara interior	19.78	2306.020	1168.476	50.7	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1168.476	50.0		

donde:

q : Temperatura, °C.

P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_n : Presión del vapor de agua, Pa.

j : Humedad relativa, %.

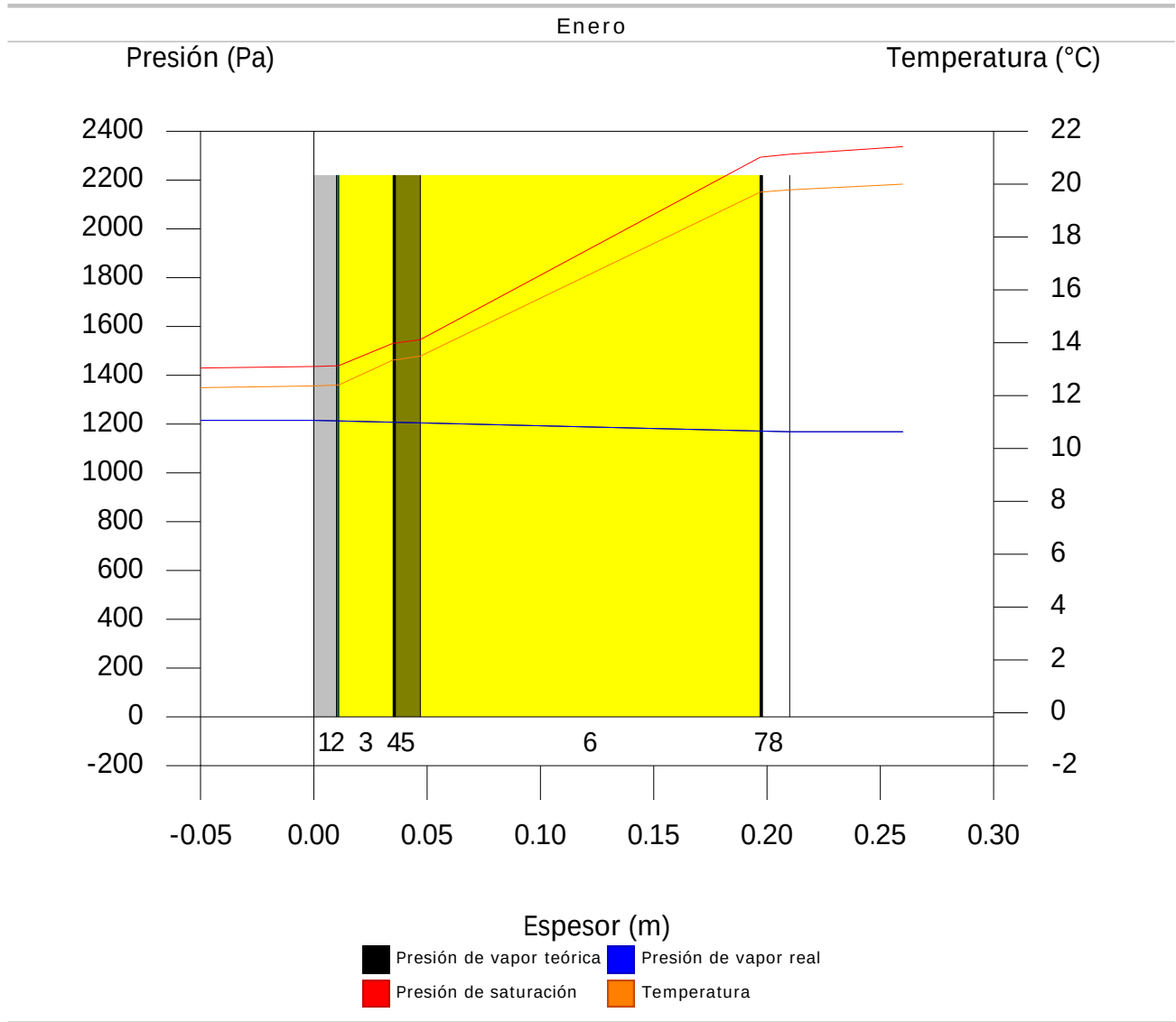
g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

M_a : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Enero)

Condensaciones

1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas



Anexo XXX - (DB-HE) Puentes térmicas lineales

Descripción de los puentes térmicos lineales

EN ISO 14683

EN ISO 10211

Encuentro de fachada con forjado	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
I-PV1-1-S-PDE1-0-E-PD1-1 *	31.765	0.12
Fachada com pavimento de nível inferior acima		
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1 *	26.542	0.02
Fachada com pavimento de nível intermédio superior		
I-PV2-1-E-PD1-1-E-PD1-1	4.998	0.40
Fachada com varanda		

* Cálculo efectuado conforme a la norma

Esquina saliente de fachadas	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
E-PD1-1-E-PD1-1 *	7.560	0.03
Encontro de fachadas		
E-PD1-1-E-PD2-1	5.009	0.04
Fachada com varanda		

* Cálculo efectuado conforme a la norma

Hueco de ventana	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
Inf - E-VE1-L1-E-PD1-1	6.000	0.50
Fachada com caixilharia.		
Sup - E-VE1-L1-E-PD1-1	6.000	0.50
Contato superior da Fachada com caixilharia.		
Lat - E-VE1-L1-E-PD1-1	4.200	0.50
Laterais da caixilharia com a Fachada		
Inf - E-VE1-S1-E-PD1-1	5.000	0.50
Laterais inferior da caixilharia com a Fachada		
Sup - E-VE1-S1-E-PD1-1	5.000	0.50
Contato superior da Fachada com caixilharia		
Lat - E-VE1-S1-E-PD1-1	2.100	0.50
Laterais da caixilharia com a Fachada		
Inf - E-VE1-O1-E-PD1-1	2.000	0.50
Laterais inferior da caixilharia com a Fachada		
Sup - E-VE1-O1-E-PD1-1	2.000	0.50
Contato superior da Fachada com caixilharia		
Lat - E-VE1-O1-E-PD1-1	2.100	0.50
Laterais da caixilharia com a Fachada		

Anexo XXV - Aprofundamento nas comparações da análise de eficiência energética entre Portugal e Espanha

1. Futuro projeto transfronteiriço

Este estudo foi desenvolvido por analogia e relevância dos resultados encontrados na dissertação, podendo ser útil para um futuro projeto transfronteiriço de análise de eficiência energética das edificações entre Portugal e Espanha. Por essa razão, advertimos que existe a necessidade de maiores bases científicas para ser continuado, motivo pelo qual não foi incluído na dissertação, sendo exposto por questões de curiosidade e base para futuras análises.

2. Processo de análise do zoneamento

Após validar o modelo em estudo, optamos por fazer análises mais profundas dos resultados. Entretanto, para isso, teríamos que ter em mãos o mesmo zoneamento climático entre Portugal e Espanha, como no caso do estudo que fizemos, pelo fato de que os fatores de passos e as exigências regulamentárias são oriundos do clima da região onde será construída a edificação. No CTE - *Código Técnico de la Edificación* temos uma tabela de referência do zoneamento climático da Espanha:

Tabela zoneamento climático da Espanha - CTE

Espanña					
SC (VERANO)	A4	B4	C4		E1
			C3	D3	
			C2	D2	
			C1	D1	
	A3	B3			
SC (INVIERNO)					

Sabendo que o inverno em algumas regiões da Espanha é muito mais rigoroso que o de Portugal, por possuir um território que se aproxima mais do hemisfério norte. E geograficamente envolvendo Portugal, temos a figura a seguir.

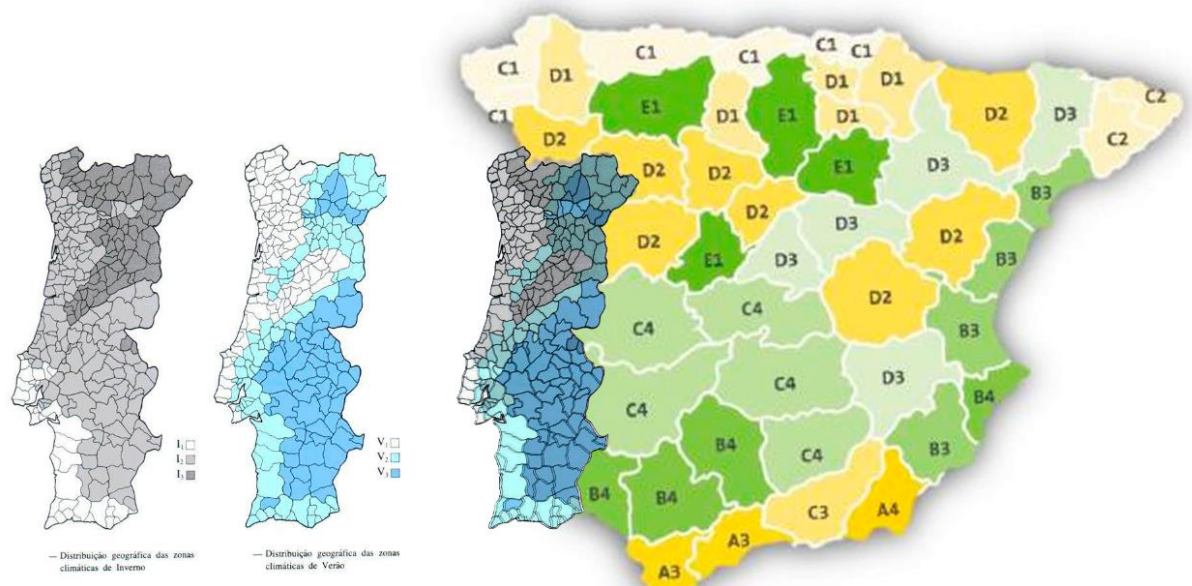


Figura combinando do zoneamento climático de Portugal e Espanha

Chegamos à conclusão empírica da tabela abaixo, como um norteador para nossas simulações, pela combinação dos zoneamentos climáticos

Tabela zoneamento climático Portugal

Portugal					
VERÃO	I1V3	I1V1	I2V2		-
			I2V1		
			I3V3		
			I3V2		
	I1V2	I2V3	I3V1		
INVERNO					

Assim teríamos as relações de zoneamento climático abaixo:

Tabela relação base de zoneamento climático entre Portugal e Espanha

Zona Climática	
Portugal	Espanha
I1V3	A4
I1V2	A3
I1V1	B4
I2V3	B3
I2V2	C4
I2V1	C3
I3V3	C2
I3V2	C1
I3V1	D3
	D2

	D1
-	E1

Com base nessas premissas, totalmente empíricas, buscar-se-ia as cidades fronteiriças para nortear as temperaturas e umidade de referência, como demais informações de parametrização do Cypetherm REH e Cypetherm HE Plus, seguindo o Anexo I - Estudo de Caso Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPERTHERM HE PLUS. Isso porque, mesmo que nossas premissas de relação do zoneamento climática estiverem certas, sem a correta parametrização teríamos uma quimera que não haveria nenhuma relação lógica para a comparação.



Anexo XXIV - Resumo do estudo de caso

Dean Delmo

Desafios

- Realizar o pré estudo nas folhas de cálculos da ITECONS de Portugal e nos softwares HULC e CEX3 da Espanha para definição, validação e parametrização das informações que serviram de input aos sistemas utilizados de análise de eficiência energética
- Desenvolver valores praticáveis no mercado do projeto modelo com o cumprimento do REH, utilizando um material com características mecânicas e comerciais comuns para Portugal e Espanha. O LSF foi escolhido o para este fim.

Limitações

- Os softwares utilizados para análise não realizam o cálculo das pontas térmicas planas. Por isso não validamos esse requisito térmico.
- Não foi feita a análise acústica
- O Cypetherm HE Plus não permite alterar o coeficiente de redução e perdas. Dessa forma, somente pudemos alterar os valores do Cypetherm REH
- Análise das características do aço na transmitância térmica e nas pontes térmicas lineares.

- As análises das arestas (PTL) devem de ser refeitas cautelosamente, pois os valores não são representados e compilados da mesma maneira pelos softwares.
- O Cypetherm HE Plus utiliza uma casa decimal a mais que o Cypetherm REH, gerando no segundo aplicativo valores arredondados que diferenciam os resultados nos cálculos.
- Limitações nos inputs e outputs dos sistemas
- Características regulamentares diferenciadas entre o REH e o DB-HE
- As Leis não estão organizadas, havendo a necessidade de buscar a versão mais atual e válida.
- Comparação dos resultados do Cypetherm com as leis em vigor em 2021.

Método de análise

- Pesquisa de artigos científicos e modelos de sustentabilidade na construção civil.
 - Análise das características climáticas
 - Modelo construtivo
 - Demanda e consumo de energia
 - Ganhos e controle solar
 - Sistemas eficientes de climatização
 - Uso de energias renováveis
 - Ventilação e umidade
 - Eficiência na industrialização da construção
- Estudo dos cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios de Portugal e da Espanha.
- Estudos dos softwares Cypetherm para parametrização da introdução de dados nos sistemas.
- Encontrar uma linguagem comum que possa ser compartilhada por a área de conhecimento que percorre a análise de eficiência energética das edificações, em um cenário computacional (BIM) e em estrutura de LSF na construção 4.0 nos dois países de diferentes culturas, normativas e idioma.

Processo de Análise

- Partir de um algoritmo de análise térmica, o mais parecido possível. Decidimos escolher o uso de *softwares* de mesmo fabricante.
- Foram feitos estudos comuns para validação de todas as exigências energéticas dos regulamentos REH e DB-HE para moradia unifamiliar, com o intuito de se obter um resultado válido para projetos na Espanha e em Portugal.
- Quanto à referência ao processo de análise da eficiência energética do “*Código Técnico de la Edificación (CTE)*”, optou-se por usar as palavras do idioma Espanhol, em “*Castellano*”, para evitar possíveis traduções equivocadas, fora da semântica linguística apropriada.
- Como a proposta da dissertação é no idioma português, para uma instituição portuguesa, e a localização em análise é necessário optar por uma forma de se expressar, utilizamos por padrão as da REH. Como é o caso da nomenclatura.

Resumo da simulação computacional do estudo de caso

No “Anexo I - Estudo de Caso: Simulação computacional CYPETHERM REH e CYPETHERM HE PLUS”, foram realizadas análises de vários modelos arquitetônicos com variação dos vãos envidraçados, geometria, zona climática e materiais utilizados em sua edificação.

Percebendo que cada modelo possui peculiaridades únicas nos resultados dos estudos de eficiência energética, e que a Metodologia BIM é de grande eficácia na velocidade para analisar cada mudança realizada nas características do modelo, podemos chegar aos resultados nZeb com variações de características simples nas parametrizações dos objetos e, assim, direcionar com mais exatidão a compra dos materiais e a melhora na eficiência energética da edificação.

Em ambos os regulamentos a utilização de isolamento da envolvente exterior, como o uso de vão envidraçados com transmitância térmicas baixas, uso de proteções moveis e sombreamento solar, foram diferenciadas na melhor obtenção dos resultados passivos.



Anexo XXXIII - BIM Studio

Dean Delmo

Sumário

1. O que é o BIM	1
2. openBIM.....	2
3. O que é IFC	2
4. LOD's do BIM	4
5. Ciclo de vida no BIM	6
6. Dimensões do BIM	8
7. Eficiência energética no BIM	10

1. O que é o BIM

A modelagem da informação de construção (BIM) é um processo suportado por várias ferramentas, tecnologias e acordos que envolvem a geração e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais dos edifícios. Os modelos de informações de construção (BIMs) são arquivos de computador (frequentemente, mas nem sempre, em formatos proprietários e contendo dados proprietários) que podem ser extraídos, trocados ou colocados em rede para apoiar a tomada de decisão em relação a um ativo construtivo. O software BIM é usado por indivíduos, empresas e agências governamentais que planejam, projetam, constroem, operam e mantêm edifícios e diversas infraestruturas físicas, como água, lixo, eletricidade, gás, serviços de comunicação, estradas, ferrovias, pontes, portos e túneis.

A metodologia openBIM é baseada na utilização de padrões abertos, como o IFC, que serve como formato de troca de dados entre agentes, processos e aplicativos, definido pela Norma ISO 16739: 2013.

Building Information Modeling (BIM) é um processo inteligente baseado em modelo 3D que fornece aos profissionais de arquitetura, engenharia e construção (AEC) a visão e as ferramentas para planejar, projetar, construir e gerenciar edifícios e infraestrutura com mais eficiência.

2. openBIM

O openBIM é uma abordagem universal para o projeto colaborativo, realização e operação de edifícios com base em padrões abertos e fluxos de trabalho.

1 - O openBIM fornece um fluxo de trabalho transparente e aberto que permite que os membros do projeto participem, independentemente das ferramentas de software que usam.

2 - O openBIM cria uma linguagem comum para processos amplamente usados. Com isso, indústrias e órgãos oficiais podem obter projetos comercialmente transparentes, com melhor benchmarking entre os serviços e com qualidade de dados garantida.

3 - O openBIM fornece dados duráveis para uso em todo o ciclo de vida do projeto, evitando múltiplas entradas dos mesmos dados e os consequentes erros.

4 - Fornecedores de software de plataforma de pequeno a grande porte podem participar e competir com sistemas independentes, buscando em conjunto a melhor solução possível para o cliente.

Assim com o openBIM, temos uma oferta mais ampla de produtos online, onde os usuários podem explorar soluções mais relevantes para suas necessidades e ter um produto voltado diretamente para o BIM.

3. O que é IFC

O IFC é um padrão internacional aberto (ISO 16739-1: 2017), instalado em uma ampla variedade de dispositivos de *hardware*, plataformas de *software* e *interfaces* para muitos casos e usos diferentes (BUILDINGSMART, 2020). Com ele obtém-se a melhoria do compartilhamento das informações durante todo o ciclo de vida do projeto, permitindo que os usuários finais tenham colaboração e comunicação, independentemente do *software* que estejam usando. Esse padrão aceita a compatibilidade geométrica e das informações contidas no objeto, sendo arquivos armazenados no computador em código ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) através de metadados, possibilitando a interoperabilidade, que é transferir as informações de um ambiente para outro ambiente (METODOLOGÍA BIM, 2021).

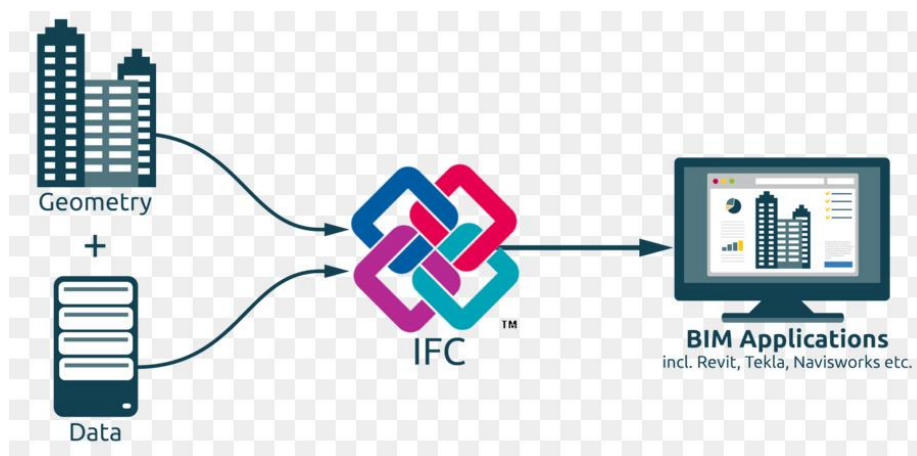


Figura 1 - Interoperabilidade IFC (Fonte: BIMCommunity))

A interoperabilidade expressa a capacidade de comunicação envolvida na troca e uso de dados entre pelo menos dois ambientes. Não há duplicação de dados (*Bytes*) na interoperabilidade ao transferir as informações, permitindo também usar múltiplas ferramentas com os mesmos conjuntos de arquivos para diferentes objetivos (Duygu Utkucu e Hatice Söze, 2020).

Por haver muitos elementos diferentes na representação de uma construção em BIM, a capacidade de identificar cada um desses elementos dentro do ambiente é complexa. Elementos que possuem a parametrização oriunda da *Object-oriented programming* - OOP, são representações digitais de paredes, janelas, portas, etc., pelos *softwares* dentro da categoria (tabelas de classificação), fornecendo

propriedades diferentes relativas ao seu posicionamento dentro do modelo construtivo.

Tendo como objetivo conhecer as fases posteriores do *facility management*, visa-se, obter o melhor aproveitamento possível dos metadados que estão associados a cada um dos elementos (ISO 12006-2, 2015). Todos esses metadados devem ser regidos por padrões que garantam sua adequada parametrização e integração, além de assegurarem uma linguagem comum.

Os Sistemas de Classificações normalmente usados na indústria da AEC, com o fluxo de trabalho openBIM são (ABOUT OMNICLASS, 2021):

Tabela 1 – Tabelas de classificação da indústria da AEC, utilizados no fluxo de trabalho openBIM

Omniclass	Uniclass	UniFormat	MasterFormat	NL /SfB
Construção de edifícios do Estados Unidos.	Construção de edifícios Reino Unido	Estimativa de custo e análise de gasto de energia nos EUA e Canadá	Projetos de design e construção de edifícios comerciais na América do Norte	Construção e instalação originada na Suécia

4. LOD's do BIM

Na gestão de um projeto em BIM são considerados as características gráficas e das informações, direcionado para a agilidade desejada a característica do projeto analisado, como descrito por Brumana *et al* em 2018:

- LOD (*Level of Development* - Nível de Desenvolvimento) – Nível de Detalhe: O desenho balizado em um processo linear, que se enriquece progressivamente nas diferentes fases do modelo conceitual, estando diretamente associado à sua utilização.

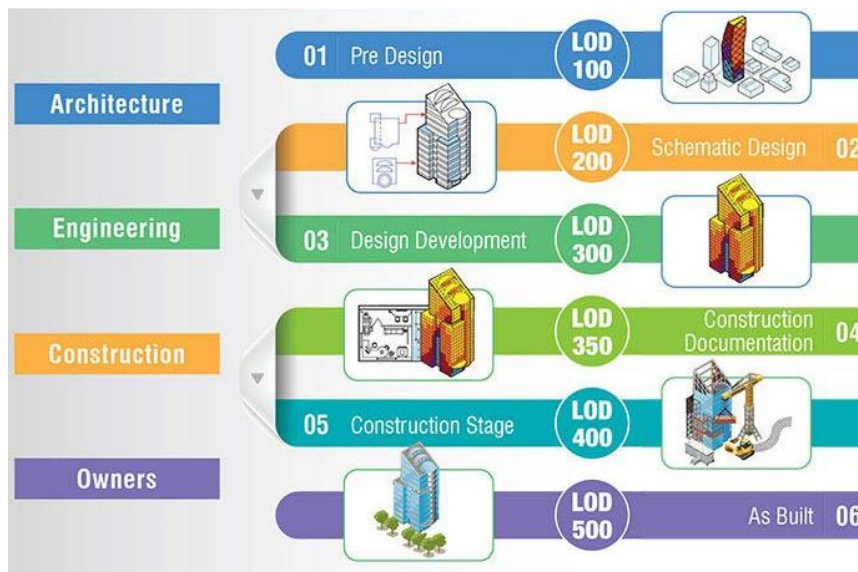


Figura 2 - Nível LOD e disciplinas relacionadas (Fonte: hitechcaddservices.com)

- LOG (*Level of Geometry* – Nível Geométrico) – Detalhes Gráficos: Precisão obtida pelas pesquisas de alta resolução, é adaptado para a especificidade do processo de restauração de um monumento histórico.
- GOG (*Grade of Generation* - Graus de Geração) – Imagem e Informação: Um processo de modelagem paramétrica baseado em NURBS (*Non-uniform rational basis spline*), para descrever a geometria complexa e combinar as informações relacionadas.
- LOI (*Specific Level of Information* – Nível de informação) – Parametrização: É o grau de informação que contém o objeto. Por exemplo, podemos ter um desenho de uma linha que tenha além das informações de sua geometria e localização no plano 3D, a sua elasticidade, a densidade, o peso, a transmitância térmica, etc. Quanto mais informações temos sobre o modelo, mais precisão teremos nos cálculos realizados para simular esse modelo. Assim para análise de eficiência energética a informação é primordial, em detrimento do desenho.



Figura 3– A importância do “I” do BIM (Fonte: Imagem do Autor)

O *input* no DB (*Data Basic* – Banco de Dados) do modelo analisado, interfere diretamente no *output* no qual teremos que efetuar a análise dos resultados. Um bom exemplo é a inclusão de casas decimais nos *inputs* do sistema, que pode aumentar a precisão dos resultados. Embora seja muito mais significativo e ganhando mais realismo na simulação, também faz mais solicitações do *hardware* e ocupa mais memória RAM (Random Access Memory) da CPU (*central processing unit*), tornando a simulações mais lentas.

Como se percebe, as parametrizações dos objetos construtivos são diferentes, pois cada um possui uma finalidade e característica peculiar para o resultado desejado. Assim, na criação do modelo, a definição correta das informações fin dará na maior precisão do resultado obtido. Aqui temos as mesmas definições de criação de objetos existentes na engenharia de sistemas e *software*, das linguagens de programação orientadas a objetos.

- LOA (*Level of Accuracy* - Nível de precisão) - Testes

Por meio de uma modelagem 3D e parametrização rigorosa, testes e validação estatística, obtém-se um modelo de objeto com elevado nível (LOG + LOI). Temos então, uma ferramenta interoperável para gerenciar diferentes etapas como: análise de diagnóstico, análise de elementos finitos, análise econômica, canteiro de obras, cálculo de custos, estrutura analítica do projeto, restauração, etc.

O LOG, GOG, LOI e LOA podem ser adotados e implementados em diferentes fases do projeto, com mais ou menos eficiência, e para as fases seguintes do processo, dependendo da necessidade.

5. Ciclo de vida no BIM

Sendo uma representação digital das características de uma edificação, o BIM é um recurso de conhecimento compartilhado, formando uma base confiável para decisões durante seu ciclo de vida (Xun Xu, 2014), melhorando o processo de produção. Algumas das otimizações nas aplicações com o BIM são:

Tabela 2 – Fases de projetos do BIM

Fase	Implementação	Módulo	Descrição

Projeto	Permitindo uma precisão no projeto e interação de todos os agentes envolvidos no processo.	Modelo de análise de interferências <i>Clash Detection</i>	Como podemos ver detalhadamente o que projetamos com simulações 3D, verificações de cálculos baseados em subsistemas, características dos materiais entre os modelos estruturais, hidráulicos, elétricos, etc., conseguimos evitar que eles sejam projetos que ocupem o mesmo lugar na edificação.
		Análise de desempenho de construção	Em um modelo digital, são feitas simulações dinâmicas de eficiências estrutural, acústica, energéticas, etc., antes de ser executado, obtendo um modelo mais eficaz e preciso de edificação, dos gastos econômicos e dos impactos ambientais.
Construção	Os agentes envolvidos no processo podem acompanhar o dia-a-dia da execução do projeto.	Simulação de visualização de progresso	O gerenciamento da obra é implementado automaticamente no decorrer do tempo, com base no modelo de informações do projeto, possibilita comparar o cronograma de construção real e o cronograma de construção planejada
		Monitoramento de segurança de construção	Permite realizar análise e monitoramento de todo o processo de segurança da construção em tempo real, fazendo alterações conforme as condições climáticas e operacionais
Operação	Atualização do modelo virtual à medida que o edifício real é modificado. O edifício tem uma réplica “exata” da estrutura real, obtendo-se dados para o <i>SmartBuilding</i>	Gestão de instalações	O <i>facilities management</i> , para o desempenho do edifício, incluem gerenciamento de espaço, controle e monitoramento de energia e facilitação do acesso aos dados em tempo real
		Gerenciamento de emergência	Possibilita simular o processo do desastre, analisar as causas, elaborar o plano de proteção, programa de evacuação e proteção, no gerenciamento de emergência e controle e monitoramento de energia

Outro aspecto interessante é a visão de HOK CEO Patrick MacLeamy, FAIA, que diz que *para cada dólar investido na fase de projeto, mais vinte dólares são gastos durante a fase de montagem ou construção e sessenta dólares durante a fase da vida útil do edifício, considerando cerca de cinquenta anos de vida útil* (Patrick MacLeamy) O BIM representa a modelagem inicial do projeto (*design*), o BAM, a montagem/construção do edifício (*Building Assembly Modeling*) e o BOOM a fase de operação (*building owner operator model*). Conhecendo essas

informações e gerenciando através de um modelo virtual, podemos otimizar custos. Pois segundo MacLeamy: “BIM-BAM-BOOM!” é “*better design, better construction, better operation*”.

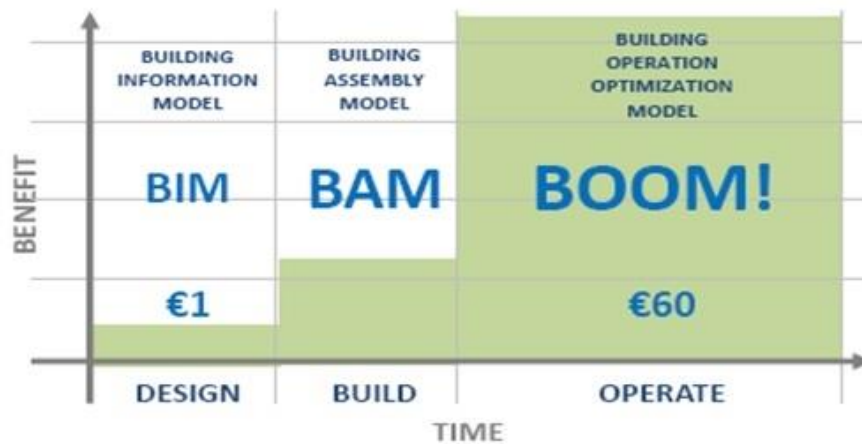


Figura 4 - BIM-BAM-BOOM (Fonte: BIM BAM BOOM, Patrick MacLeamy, CEO, HOK)

Novas tecnologias e ferramentas que faziam parte apenas no campo da experimentação já estão sendo utilizadas na prática no fluxo BIM, como ferramentas de Realidade Aumentada (RA) através do uso de óculos, Realidade Virtual (RV) nas etapas de construção, comercialização e manutenção dos imóveis, por exemplo.

Aplicação de técnicas de Escaneamento a Laser (LS) utilizando *drones* para obtenção de nuvens de pontos para em casos de reformas ou *retrofit* de edificações, gerar o modelo virtual da mesma com riquezas de detalhes e precisão.

Além das descritas, podemos citar o uso de outras tecnologias como inteligência artificial, impressão 3D, ferramentas de design computacional ou modelagem algorítmica, IoT – Internet das coisas e Big Data.

O BIM já é realidade e seu futuro tende a ser aperfeiçoado com a inserção de novas tecnologias associando cada vez mais a medidas dos regulamentos de eficiência energética com a fase de construção.

6. Dimensões do BIM

A metodologia BIM engloba o desenvolvimento, direção, monitoramento e controle da construção, com a gestão de todas as informações que são geradas ao

longo do projeto, desde a fase inicial de planejamento, através do projeto conceitual e seleção de alternativas, até o estabelecimento das fases mais avançadas, que incluem projeto estrutural, instalações e acabamentos, incluindo o acompanhamento e o controle da gestão da construção e manutenção futura das instalações.

Para organizar todos esses processos foram criadas as dimensões 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D e 10D, que são aspectos fundamentais, tais como a eficiência energética, segurança funcional e sustentabilidade dos edifícios e das infraestruturas (Montiel *et al*, 2020).

Tabela 3 - Dimensões, propriedades e aspectos a serem desenvolvidos na Modelagem de Informações de Construção (BIM) modelo para edifícios. (Montiel et al, 2020)

Dimensões BIM	Propriedades	Aspectos desenvolvidos no modelo
2D	Documentação Básica 2D	• Planos tradicionais bidimensionais (2D) • Linhas, imagens de aviões
3D	Modelo tridimensional 3D	• Documentação gráfica em três dimensões (3D) • Informação geométrica especial • Objetos com propriedades • Visualização 3D do projeto
4D	Programação do Plano de Execução (Prazos)	• Simulação de fases do projeto • Simulação de instalações • Desenho do Plano de Execução
5D	Planejamento, Monitoramento e Controle de Custos	• Estimativa de orçamento de despesas • Medições de materiais e mão de obra • Análise de custos operacionais
6D	Sustentabilidade e eficiência energética	• Análise de energia • Variações e interações de envelope • Análise de simulações e eficiência energética e propostas ambientalmente sustentáveis
7D	Gestão de Instalações	• Estratégias de Análise de Ciclo de Vida BIM (LCA) • Modelo de Plano de Manutenção e Operações Prediais (<i>Facility Management</i>) • Controle Logístico do Projeto
8D	Segurança e Riscos na Construção.	• Segurança e Saúde (ou Saúde e Segurança) para avaliação de risco na construção ou intervenções

9D	Gestão de construção / reabilitação	Gestão de Projetos, uso de realidade virtual e aumentada e outras técnicas, inspeção, supervisão, controle de qualidade e administração de obras.
10D	<i>As Built Model / Digital Twin Construction</i>	<i>Smart Cities</i> e CIM (<i>City Information Modeling</i>), Banco de Dados gerado pelo modelo BIM para a construção do Digital

Em sintaxe, o BIM assume a evolução dos sistemas de design tradicionais baseados no plano (2D), uma vez que incorpora informações geométricas (3D), tempo (4D), custos (5D), sustentabilidade ambiental (6D) e gestão de instalações (7D), com ações para o futuro da Segurança e Riscos na Construção (8D), Gestão para reabilitação (9D) e *Modelos para Smart Cities* (10D).

7. Eficiência energética no BIM

Os métodos e técnicas atuais para executar a simulação de energia de edifícios são demorados, difíceis de executar e carecem de alta interoperabilidade entre os dados de energia teóricos e reais. Assim, uma técnica inteligente conhecida como Building Information Modeling (BIM) pode ser usada como alternativa

O uso do BIM pode ajudar os profissionais da construção a melhorar a eficiência energética em novos projetos e reformas e a reduzir o custo de resíduos durante a construção.

Um projeto de construção desenvolvido com BIM ajuda aos profissionais identificarem áreas para melhoria e uso de energia em todo o edifício. Isso permite que os planejadores otimizem os níveis de energia para reduzir os custos de funcionamento do edifício a longo prazo. Além disso, os recursos do modelo de energia permitem que os subcontratados realizem testes hipotéticos para determinar os requisitos corretos de energia e água para o edifício, ajudando a reduzir o desperdício e os custos gerais do edifício

Em edificações antigas temos o HBIM (*Historic Building Information Modeling*), que foi usado pela primeira vez em 2009 em um artigo científico do professor Murphy do *Dublin Institute of Technology* (Murphy et al, 2009). Este termo indica uma nova forma de modelar edifícios existentes, usando o processo BIM, para produzir modelos inteligentes, contendo o gerenciamento das informações para

aprimoramento energético e reestruturação histórica do patrimônio cultural da humanidade (Brumana *et al*, 2018).

No uso do BIM a troca de dados é fundamental, seja sistema CAD, IFC ou DB, baseando em um modelo para as ferramentas de simulação de energia, as inconsistências de dados são reduzidas. Por outro lado, no uso produtivo de simulação de energia e produção de resultados confiáveis em projetos serão mais vantajosas. Nesse sentido, o fluxo de trabalho ideal para ferramentas de simulação de desempenho de energia foi expresso por Maile *et al*.(2007), que lista cinco etapas principais para a troca de dados entre *Software* de autoria BIM como um CAD baseado em modelo de ferramentas para simulação de energia.

O BIM dá aos profissionais da AEC a capacidade de prever o comportamento do edifício e tem a vantagem de armazenar informações críticas sobre o edifício. A tecnologia BIM usa essas informações para calcular os níveis de eficiência ideais para o uso de energia em todo o edifício. Com a recente implementação da tecnologia de construção inteligente, o modelo digital BIM se tornou ainda mais prevalente na indústria de construção. Usando o BIM, aspectos como monitoramento de consumo e manutenção preventiva podem ser automatizados no edifício para melhorar o desempenho a longo prazo.

Edifícios antigos ou modernos de alta tecnologia e inteligentes, são modelos complexos que compreendem muitos sistemas e processos que interagem entre si.

Anexo XXXIV

(REH) Cava - Descrição de materiais e elementos construtivos

Descrição de materiais e elementos construtivos

ISO 6946

ISO 10077

ISO 13370

ISO 10456

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE.....	4
1.1. Pavimentos em contacto com o terreno.....	4
1.1.1. Lajes térreas.....	4
1.2. Muros em contacto com o terreno.....	4
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO.....	6
2.1. Compartimentação interior horizontal.....	6
3. MATERIAIS.....	8

1. SISTEMA ENVOLVENTE

Descrição de materiais e elementos construtivos

1. SISTEMA ENVOLVENTE

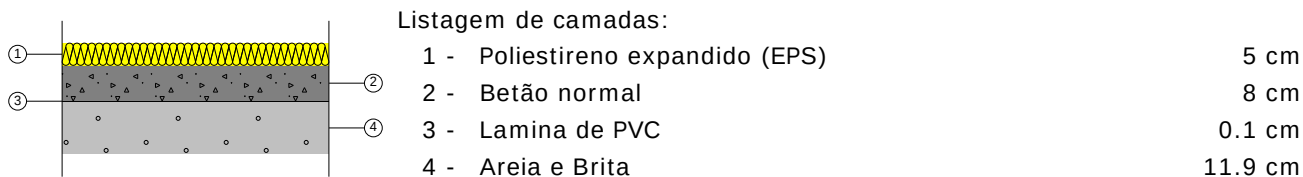
1.1. Pavimentos em contacto com o terreno

1.1.1. Lajes térreas

S-PVE0-1

Superfície total 63.68 m²

Pavimento sem isolamento térmico, com espessura total de 25.00 cm, com as seguintes camadas: 1) Poliestireno expandido (EPS), com 5.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 2) Betão normal, com 8.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 1.650 W/(m·°C); 3) Lamina de PVC, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.140 W/(m·°C); 4) Areia e Brita, com 11.9 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m·°C).



Características

Transmitância térmica, U: 0.362 W/(m²·°C)

Espessura total 25 cm

Comprimento característico, B': 4.20 m

Resistência térmica da laje, Rf: 1.31 (m²·°C)/W

Superfície da laje, A: 70.56 m²

Perímetro da laje, P: 33.60 m

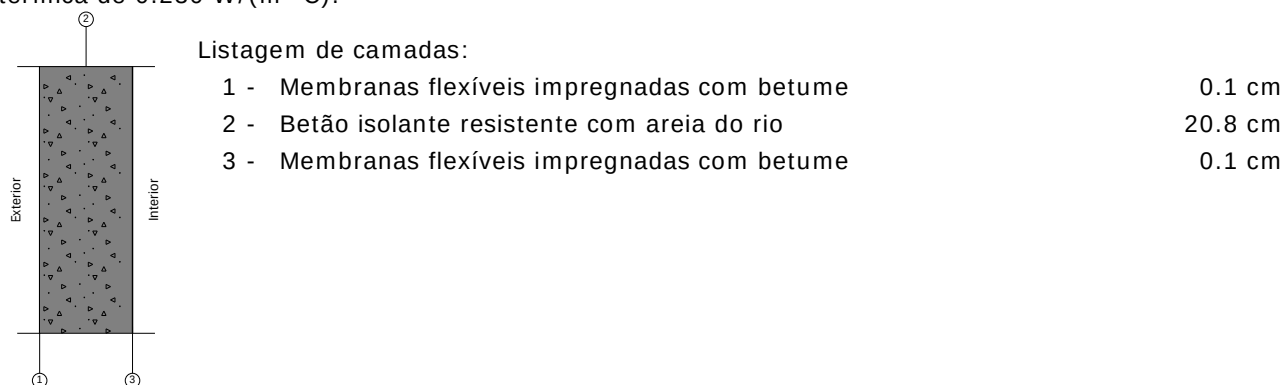
Condutibilidade térmica, λ: 2.00 W/(m·°C)

1.2. Muros em contacto com o terreno

S-PDE1-0

Superfície total 18.51 m²

MURO DA CAMARA SANITÁRIA - Parede simples sem isolamento térmico, com espessura total de 21.00 cm, com as seguintes camadas: 1) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C); 2) Betão isolante resistente com areia do rio, com 20.8 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.700 W/(m·°C); 3) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0.1 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.230 W/(m·°C).



Características Transmitância térmica, U: 0.840 W/(m²·°C)

Espessura total 21 cm

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

Descrição de materiais e elementos construtivos

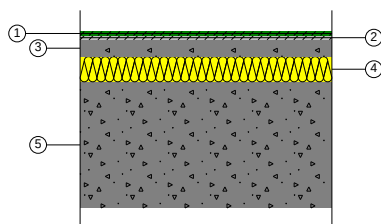
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

2.1. Compartimentação interior horizontal

I-PV1-1

Superfície total 61.26 m²

Pavimento com isolamento térmico pelo interior, com espessura total de 42.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas: 1) Piso Terminado, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.800 W/(m·°C); 2) Nivelador, com 1.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.550 W/(m·°C); 3) Contra Piso, com 4.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 2.000 W/(m·°C); 4) Poliestireno expandido (EPS), com 6.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.042 W/(m·°C); 5) Piso de Fundação com Armadura, com 30.0 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0.850 W/(m·°C).



Listagem de camadas:

1 - Piso Terminado	1 cm
2 - Nivelador	1 cm
3 - Contra Piso	4 cm
4 - Poliestireno expandido (EPS)	6 cm
5 - Piso de Fundação com Armadura	30 cm

Características

Transmitância térmica, U: 0.492 W/(m²·°C)

Espessura total 42 cm

3. MATERIALS

Descrição de materiais e elementos construtivos

3. MATERIAIS

Camadas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.1	1100	0.230	0.0043	1000
Betão isolante resistente com areia do rio	20.8	1200	0.700	0.2971	1000
Piso Terminado	1	1600	0.800	0.0125	1000
Nivelador	1	1200	0.550	0.0182	1000
Contra Piso	4	2400	2.000	0.0200	1000
Poliestireno expandido (EPS)	6	20	0.042	1.4286	1000
Piso de Fundação com Armadura	30	1500	0.850	0.3529	1000
Poliestireno expandido (EPS)	5	14	0.042	1.1905	1000
Betão normal	8	2300	1.650	0.0485	1000
Lamina de PVC	0.1	1200	0.140	0.0071	1000
Areia e Brita	11.9	1700	2.000	0.0595	1000
Abreviaturas utilizadas					
e	Espessura cm		RT	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W	
ρ	Densidade kg/m^3		Cp	Calor específico J/($kg \cdot ^\circ C$)	
λ	Condutibilidade térmica W/($m \cdot ^\circ C$)				

Anexo XXXV
(REH) Nova Classe de Inércia Térmica

Inércia Térmica

Despacho nº15793-K/2013

ÍNDICE

1. DADOS GERAIS.....	3
2. RESULTADOS OBTIDOS POR ELEMENTO CONSTRUTIVO.....	3
2.1. Zona comum.....	3
2.1.1. Paredes exteriores ou em contacto com o solo.....	3
2.1.2. Paredes e pavimentos interiores.....	4
3. ZONAS.....	5
3.1. Zona comum.....	5

Capacidade térmica

1. DADOS GERAIS

A classe de inércia térmica do edifício ou fracção determina-se de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento.

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [kg/m^2]$$

em que:

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i , (kg/m^2)

r - Factor de redução da massa superficial útil,

S_i - Área da superfície interior do elemento i , (m^2)

A_p - Área interior útil de pavimento, (m^2)

Classes de inércia térmica interior, I_t (kg/m^2)

Fraca $I_t < 150$

Média $150 \leq I_t \leq 400$

Forte $I_t > 400$

Massa superficial útil de elementos de construção

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil de cada elemento de construção, M_{si} , em kg/m^2 é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e do isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial.

Factor de redução da massa superficial

O factor de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa de ar associada, R_{ar} .

2. RESULTADOS OBTIDOS POR ELEMENTO CONSTRUTIVO

2.1. Zona comum

2.1.1. Paredes exteriores ou em contacto com o solo

2.1.1.1. E-PD1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m^3)	Condutibilidade ($W \cdot ^\circ C/m^2$)	Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Massa (kg/m^2)
Reboco com textura e pintura	0.010	1200.00	0.55	0.02	12.00
Poliamida com 25% de fibra de vidro	0.001	1450.00	0.30	0.00	1.45
Poliestireno expandido (EPS)	0.024	14.00	0.04	0.57	0.34
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Painéis de lamelas longas (OSB)	0.011	650.00	0.13	0.08	7.15
Lã de rocha (MW) +LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placa de gesso cartonado	0.012	1000.00	0.25	0.05	12.00
				Total	42.64
				M_{si} ($< 150.00 kg/m^2$)	13.10
				r	1.00

Capacidade térmica

2.1.2. Paredes e pavimentos interiores

2.1.2.1. I-PD1-2

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placas de yeso armado con fibras minerales 800 < d < 1000	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Placa de gesso cartonado	0.010	2300.00	1.30	0.01	23.00
Argamassa e reboco de cal e areia	0.010	1600.00	0.80	0.01	16.00
Total					73.90
M _{si} (< 300.00 kg/m ²)					13.70
r					1.00

2.1.2.2. I-PD1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Lã de rocha (MW)	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Membranas flexíveis impregnadas com betume	0.001	1100.00	0.23	0.00	1.10
Placa de gesso cartonado	0.014	900.00	0.25	0.06	12.60
Total					34.90
M _{si} (< 300.00 kg/m ²)					13.70
r					1.00

2.1.2.3. I-PV1-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Piso Terminado	0.010	1600.00	0.80	0.01	16.00
Nivelador	0.010	1200.00	0.55	0.02	12.00
Contra Piso	0.040	2400.00	2.00	0.02	96.00
Poliestireno expandido (EPS)	0.060	20.00	0.04	1.43	1.20
Piso de Fundação com Armadura	0.300	1500.00	0.85	0.35	450.00
Total					575.20
M _{si} (< 150.00 kg/m ²)					124.00
r					1.00

Capacidade térmica

2.1.2.4. I-PV2-1

Camada	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade (W·°C/m ²)	Resistência térmica (m ² ·°C/W)	Massa (kg/m ²)
Placa de gesso cartonado	0.015	1000.00	0.25	0.06	15.00
Lã de rocha (MW)	0.025	50.00	0.04	0.63	1.25
OSB multilaminado	0.025	600.00	0.14	0.18	15.00
Neopreno (policloropreno)	0.001	1240.00	0.23	0.00	1.24
Lã de rocha (MW) + LSF	0.150	50.00	0.04	3.75	7.50
Painés de lamelas longas (OSB)	0.014	650.00	0.13	0.11	9.10
				Total	49.09
				M _{si} (< 150.00 kg/m ²)	32.49
				r	1.00

3. ZONAS

3.1. Zona comum

Classe de Inércia Térmica

FRACA