



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# **Aplicação de ferramenta de simulação dinâmica para o estudo das cargas térmicas e consumos energéticos de um edifício**

**Estela Nadine Tavares Borges**

Orientador

Prof. Adjunto Luís P. C. Neto, PhD

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, no âmbito da unidade curricular de Estágio / Projeto do 3º ano do curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, para cumprimento dos requisitos obrigatórios de avaliação.

Setembro 2024

---

## Composição do júri

Presidente do júri:

Luís Paulo Coelho Neto

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Arguentes:

Flávio Rodrigues Fernandes Chaves

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, Instituto Politécnico de Tomar

Paulo Jorge Sequeira Gonçalves

Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Arguente Suplente:

Telma Marques e Antunes

Eng<sup>a</sup> Industrial, CIVILCHECK, Actividades de Engenharia, Lda.

---

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer os meus pais por todo os ensinamentos transmitidos, por todo o apoio prestado, por terem sempre me motivado e pelos infinitos apoios e incentivos.

Quero agradecer também ao Professor Luís Neto por ter aceitado ser o meu orientador, por todo o apoio prestado no decorrer deste projeto e não só, por ter sempre mostrado disponibilidade para ajudar e apoiar ao longos destes anos nas diferentes unidades curriculares por ele lecionadas. Por fim, um obrigado por todos os conhecimentos transmitidos.

Um agradecimento à TOP INFORMÁTICA, na pessoa do Eng. Tadeu Silva, pela cedência gratuita dos softwares IFC Builder e CYPETHERM LOADS, sem as quais não seria possível a realização deste projeto.

Um obrigado a todos que fizeram parte desta etapa e que de alguma forma contribuíram para que isso fosse possível.

---

## **Resumo**

Tendo em vista a grande preocupação global no que diz respeito ao consumo de energia é preciso ter em consideração o comportamento térmico dos edifícios. O cálculo das cargas térmicas é bastante importante não só para garantir a sustentabilidade ambiental e a economia de custo, mas também para garantir o conforto, a eficiência energética e a qualidade do ar interior.

O principal objetivo deste trabalho foi o de perceber como se avalia o comportamento térmico de um edifício de forma a, mais tarde, se poder avaliar o edifício que foi objeto de estudo.

Para isso inicialmente foi preciso realizar um estudo dos conceitos teóricos acerca do tema e posteriormente uma análise ao edifício em estudo.

Do ponto de vista da execução prática do projeto foi feita a modelação arquitetónica 3D do edifício e, posteriormente, foi efetuado o respetivo cálculo das cargas térmicas usando ferramentas do BIMserver.center, nomeadamente o CYPETHERM LOADS.

Apos o cálculo das cargas térmicas foi possível fazer uma análise detalhada do comportamento térmico do edifício e verificar a importância das condições internas e externas às quais o edifício está sujeito.

O software utilizado para o cálculo das cargas térmicas permite a realização de uma análise detalhada das cargas de cada compartimento.

## **Palavras-chave**

Cargas Térmicas, CYPETHERM LOADS, Simulação Dinâmica

---

## **Abstract**

Considering the great global concern regarding energy consumption, it is essential to take into account the thermal behavior of buildings. The calculation of thermal loads is very important not only to ensure environmental sustainability and cost savings, but also to guarantee comfort, energy efficiency, and indoor air quality.

The main objective of this work was to understand how the thermal behavior of a building is evaluated, in order to later assess the building that was the subject of study.

For this, it was initially necessary to conduct a study of the theoretical concepts related to the topic, followed by an analysis of the building under study.

From the perspective of the practical execution of the project, a 3D architectural modeling of the building was carried out, and subsequently, the respective calculation of the thermal loads was performed using tools from BIMserver.center, specifically CYPETHERM LOADS.

After calculating the thermal loads, it was possible to conduct a detailed analysis of the building's thermal behavior and assess the importance of the internal and external conditions to which the building is subjected.

The software used for calculating the thermal loads allows for a detailed analysis of the loads in each room.

## **Keywords**

Thermal Load, CYPETHERM LOADS, Dynamic Simulation

---

## Índice geral

1. Introdução .....	2
1.1. Introdução ao projeto .....	2
1.2. Contexto e motivação .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.4. Estrutura do Relatório .....	3
2. Comportamento Térmico e Energético nos Edifícios .....	5
2.1. Processos de transferência de calor .....	5
2.2. Coeficiente de transmissão térmica .....	10
2.3. Ganhos nos edifícios .....	18
2.4. Simulação dinâmica de edifícios .....	22
3. BIMserver.center .....	27
3.1. IFC Builder .....	28
3.2. CYPETHERM LOADS .....	32
4. Caso de Estudo .....	37
4.1. Caracterização do edifício .....	39
4.2. Criação do modelo .....	41
4.3. Características psicométricas exteriores .....	53
4.4. Características psicométricas interiores .....	54
4.5. Ganhos Internos .....	59
4.6. Perfil de utilização .....	62
5. Simulações .....	65
5.1. Simulações no CYPETHERM LOADS .....	65
5.2. Resultados das simulações .....	66
5.3. Análise e considerações sobre os resultados .....	70
6. Conclusões .....	73
6.1. Breve resumo do trabalho realizado .....	73
6.2. Apreciação do trabalho desenvolvido face aos objetivos previamente definidos .....	74
6.3. Dificuldades e limitações .....	74
6.4. Melhorias a fazer .....	74
Referências bibliográficas .....	76

---

## Índice de Figuras

Figura 1: Processos de transferência de calor.....	6
Figura 2: Transmissão de calor através de uma parede.....	12
Figura 3: Radiação solar na atmosfera.....	19
Figura 4: Trajetórias aparentes do Sol no hemisfério Norte.....	19
Figura 5: Ângulo de altitude solar (em cima) e amplitude da exposição solar (em baixo) para uma janela virada a sul, localizada na latitude 40°N.....	20
Figura 6: Mecanismos de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia.....	21
Figura 7: Conta no BIMserver.center.....	27
Figura 8: Criação do projeto no BIMserver.center.....	27
Figura 9: Projeto “Bloco C Novo” no BIMserver.center.....	28
Figura 10: Menu Arquivo - IFC Builder.....	28
Figura 11: Aba Projeto - IFC Builder.....	29
Figura 12: Menu Nuvem de pontos - IFC Builder.....	29
Figura 13: Aba Plantas/Grupos - IFC Builder.....	30
Figura 14: Aba Arquitetura - IFC Builder.....	30
Figura 15: Menu Muros e divisões - IFC Builder.....	30
Figura 16: Menu Lajes – IFC Builder.....	30
Figura 17: Menu Aberturas – IFC Builder.....	30
Figura 18: Aba Compartimentos - IFC Builder.....	31
Figura 19: Aba Grupos de compartimentos - IFC Builder.....	31
Figura 20: Aba Edifícios próximos e outros obstáculos - IFC Builder.....	31
Figura 21: Aba Edição - IFC Builder.....	32
Figura 22: Aba Resultados - IFC Builder.....	32
Figura 23: Menu Arquivo - CYPETHERM LOADS.....	33
Figura 24: Aba Modelo térmico - CYPETHERM LOADS.....	34
Figura 25: Aba Cálculo - CYPETHERM LOADS.....	34
Figura 26: Aba Desenho - CYPETHERM LOADS.....	35
Figura 27: Localização da Beira Interior Sul.....	37
Figura 28: Zonas climáticas de inverno (à esquerda) e de verão (à direita).....	38

---

Figura 29: Vista aérea da ESTCB, com identificação do edifício que foi objeto de estudo.....	38
Figura 30: Planta do piso térreo do Bloco C.....	39
Figura 31: Perspetiva do piso 1 do Bloco C.....	40
Figura 32: Imagem exemplificativa do ficheiro dwg inicialmente fornecido, contendo todas as plantas disponíveis para o Bloco C.....	42
Figura 33: Menu “Nova obra” no IFC Builder.....	42
Figura 34: Definição do pé-direito dos pisos no IFC Builder.....	43
Figura 35: Seleção da área visível de uma planta e do ponto (0, 0, 0) para a origem comum a todas as plantas no IFC Builder.....	43
Figura 36: Seleção da área visível para cada um dos pisos e do ponto (0, 0, 0) para a origem comum a todas as plantas no IFC Builder.....	44
Figura 37: Definição da orientação do edifício.....	45
Figura 38: Paredes Interiores e Exteriores.....	45
Figura 39: Criação das Lajes Têrreas e Entre Pisos.....	45
Figura 40: Abertura na laje na zona da escadaria.....	46
Figura 41: Criação da cobertura.....	46
Figura 42: Criação das aberturas-Portas.....	46
Figura 43: Criação dos vãos envidraçados.....	47
Figura 44: Definição dos compartimentos.....	47
Figura 45: Planta do Piso 0.....	48
Figura 46: Planta do Piso 1.....	48
Figura 47: Planta da Cobertura.....	48
Figura 48: Visualização 3D do Bloco C no IFC Builder.....	49
Figura 49: Visualização 3D do piso 0 do Bloco C no IFC Builder.....	49
Figura 50: Atualizar e Partilhar no IFC Builder.....	49
Figura 51: Seleção do projeto no CYPETHERM LOADS.....	50
Figura 52: Processamento de arestas no CYPETHERM LOADS.....	51
Figura 53: ASHRAE Weather Data Viewer.....	52
Figura 54 : Dados geográficos e meteorológicos de Castelo Branco.....	52
Figura 55: Caudal de ventilação mínimo em zonas habitáveis.....	53
Figura 56: Elementos da envolvente exterior e interior.....	54
Figura 57: Portas e portões.....	54

---

Figura 58: Vãos envidraçados.....	54
Figura 59: Características da laje térrea.....	55
Figura 60: Materiais constituintes da laje térrea.....	55
Figura 61: Materiais constituintes da laje de entrepisos.....	55
Figura 62: Características da laje de entrepisos.....	55
Figura 63: Materiais constituintes da cobertura.....	56
Figura 64: Características da cobertura.....	56
Figura 65: Composição das paredes exteriores.....	56
Figura 66: Características das paredes exteriores.....	56
Figura 67: Composição das paredes interiores.....	57
Figura 68: Características das paredes interiores.....	57
Figura 69: Esquema das paredes interiores de 10 cm.....	57
Figura 70: Características das paredes interiores de 10 cm.....	58
Figura 71: Composição das paredes das instalações sanitárias.....	58
Figura 72: Características das paredes das instalações sanitárias.....	58
Figura 73: Classificação dos compartimentos caso das instalações sanitárias.....	60
Figura 74: Classificação dos compartimentos caso dos arrumos.....	60
Figura 75: Estados representativos da atividade para os compartimentos.....	61
Figura 76: Estados representativos da atividade para o Lab.C4.....	61
Figura 77: Configuração da densidade das cargas térmicas dos equipamentos.....	61
Figura 78: Configuração da densidade da potência de iluminação.....	62
Figura 79: Configuração dos perfis de utilização mensais.....	62
Figura 80: Configuração do “Perfil_Normal”.....	63
Figura 81: Configuração do “Perfil_Meio”.....	63
Figura 82: Criação de hipóteses.....	65
Figura 83: Criação de zonas.....	65
Figura 84: Seleção de compartimentos.....	66
Figura 85: Aba cálculo.....	66
Figura 86: Cargas de arrefecimento do piso 0.....	67
Figura 87: Evolução horaria para as cargas máximas simultâneas de arrefecimento para o dia 21 de junho – Piso 0.....	67
Figura 88: Cargas de arrefecimento do piso 1.....	68

---

Figura 89: Evolução horaria para as cargas máximas simultâneas de arrefecimento para o dia 21 de junho do piso 1.....	69
Figura 90: Evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 0. ....	69
Figura 91: Evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 1. ....	69
Figura 92: Cargas térmicas de aquecimento piso 0. ....	70
Figura 93: Cargas térmicas de aquecimento do piso 1. ....	70

---

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Intervalos de valores da condutibilidade térmica para vários materiais.....	7
Tabela 2: Valores da condutibilidade térmica de alguns materiais comuns .....	7
Tabela 3: Valores representativos de h para diferentes formas de convecção. ....	9
Tabela 4: Condutibilidade térmica alguns materiais segundo ITE 50.....	15
Tabela 5: Resistências térmicas superficiais segundo o ITE 50 .....	15
Tabela 6: Coeficiente global de calor para vãos envidraçados de caixilharia metálica para locais sem ocupação noturna .....	15
Tabela 7: Classes de Inércia Térmica dos edifícios.....	16
Tabela 8: Fator de redução da massa superficial. ....	17
Tabela 9: Regras de simplificação para determinação da classe da inércia térmica .....	18
Tabela 10: Níveis de metabolismo conforme a atividade realizada.....	21
Tabela 11: Condições de dimensionamento para a estação de aquecimento. ....	53
Tabela 12: Condições de dimensionamento para a estação de arrefecimento.....	53
Tabela 13: Ganhos internos do Piso 0.....	59
Tabela 14: Ganhos internos do Piso 1.....	59



# Capítulo 1

## Introdução

# 1. Introdução

## 1.1. Introdução ao projeto

A simulação dinâmica para a determinação das cargas térmicas num edifício é uma abordagem avançada que contempla as variações temporais das condições internas e externas, possibilitando uma análise detalhada e precisa do comportamento térmico de um determinado edifício ao longo do tempo.

Este tipo de simulação permite compreender e otimizar o desempenho energético e o conforto térmico em edifícios.

Existem vários softwares disponíveis para fazer simulações dinâmicas de cargas térmicas em edifícios, sendo que por norma consideram variações temporais de fatores como temperatura externa, radiação solar, ocupação do edifício e uso de equipamentos.

Neste trabalho utilizou-se o CYPETHERM LOADS, software da BIMserver.center, para se fazer a determinação das cargas térmicas do edifício em estudo, que neste caso foi escolhido o edifício do Bloco C da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco.

## 1.2. Contexto e motivação

No âmbito do curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, mais concretamente no decurso das aulas da unidade curricular de Transmissão de Calor, houve um despertar do interesse e de gosto pelo presente tema.

Dado que já tinha tido contato com alguns softwares do BIMserver.center no decurso da unidade curricular de Redes de Distribuição de Fluidos incentivou a escolha dos recursos desta plataforma para o desenvolvimento do presente projeto.

O presente tema foi proposto pelo orientador do projeto, o que pessoalmente traduziu-se numa oportunidade para aprofundar e explorar os conhecimentos nesta área, além do mais a familiaridade e o contacto preexistente com as ferramentas do BIMserver.center gerou um interesse adicional.

## 1.3. Objetivos

O desenvolvimento deste projeto teve como principal objetivo a aplicação de ferramentas de simulação dinâmica para o estudo térmico e energético de um edifício.

Inicialmente foram definidos objetivos intermédios, que foram divididos em três partes:

Parte 1: Pesquisa teórica

- Investigar todos os fatores intervenientes no comportamento térmico de um edifício;
- Pesquisar formas de caracterizar a performance do edifício, não só a nível energético, mas também de conforto para os seus habitantes;

- Analisar várias ferramentas de simulação existentes e, após seleção da(s) ferramenta(s) a utilizar, aprofundar os conhecimentos da sua utilização;

#### Parte 2: Modelação do edifício

- Caracterizar o edifício em termos de localização e envolvente;
- Criar um modelo simplificado representativo do edifício;
- Inserir dados do modelo no(s) *softwar(es)* de simulação a fim de criação do modelo do edifício;

#### Parte3: Simulação e análise de resultados

- Análise dos modelos criados para dimensionamento de equipamento de climatização;
- Simulação dinâmica do modelo para estudar e caracterizar o comportamento térmico do edifício;
- Comparar as ferramentas através dos seus resultados.

### **1.4. Estrutura do Relatório**

O presente relatório encontra-se dividido em seis capítulos:

- O primeiro capítulo, o presente capítulo, tem como objetivo fazer uma introdução ao trabalho e onde se dá a conhecer os objetivos do trabalho, mas também onde são apresentadas as motivações que levaram à realização deste projeto;
- No segundo capítulo será apresentada uma introdução teórica relativa ao comportamento térmico dos edifícios. Neste capítulo serão apresentados os fatores que influenciam o ganho térmico dos edifícios e por fim serão apresentados alguns softwares de simulação dinâmica existentes;
- O terceiro capítulo destina-se à apresentação da plataforma BIMserver.center e dos softwares que foram utilizados para o desenvolvimento deste projeto;
- No quarto capítulo será apresentado o caso de estudo, desde as características físicas do edifício a estudar até ao processo de simulação no software;
- O quinto capítulo destina-se à apresentação e à análise dos resultados das simulações efetuadas;
- No sexto e último capítulo será apresentada as conclusões do trabalho.

# Capítulo 2

## Comportamento Térmico e Energético nos Edifícios

## 2. Comportamento Térmico e Energético nos Edifícios

A análise de comportamentos térmicos e energéticos de edifícios é muito importante quando se tem em vista a melhoria da eficiência energética e o conforto dos ocupantes. No caso de Portugal este tema é especialmente relevante tendo em conta o clima variado do país, tendo a região norte e centro invernos mais frios que exigem um bom isolamento térmico e sistemas de aquecimento eficientes e a região sul com verões quentes.

Para uma melhor compreensão dos conteúdos analisados neste projeto convém lembrar alguns conceitos teóricos importantes tais como as diferentes formas de transferências de calor – condução, convecção e radiação – bem como os conceitos de resistência térmica, coeficiente global de transmissão de calor e inércia térmica que irão ser utilizados no âmbito das simulações dinâmicas dos edifícios.

### 2.1. Processos de transferência de calor

Para se ter uma noção básica do que se pretende estudar é preciso compreender a ideia de sistema e da sua vizinhança, isto porque o sistema é usado para reconhecer o objeto de análise. O sistema é definido como sendo tudo aquilo que se tem interesse em estudar, enquanto tudo o que não faz parte do sistema é definido como sendo a vizinhança, e estas encontram-se separados por uma fronteira, a qual pode ser real ou imaginária.

O calor pode ser definido como sendo um estado de energia que passa de um ponto para um outro ponto diferente no interior de um determinado sistema ou até mesmo para um sistema distinto, sempre que existam diferenças de temperatura entre estes e até que se atinja o equilíbrio térmico, isto é, até haver equivalência de temperatura entre estes. A transferência de calor dá-se sempre das zonas de temperaturas mais altas para as zonas de temperaturas mais baixas.

A termodinâmica estuda a relação entre o calor e o trabalho realizado. Estuda igualmente a interação entre o calor e as outras formas de energia, sendo que esta interação que se dá entre os sistemas e suas respectivas vizinhança pode ocorrer sobre a forma de calor ou de trabalho.

Existem três formas de transferência de calor que atendem a fenômenos físicos diferentes e podem ocorrer de forma isolada ou em simultâneo, estas são:

- Condução
- Convecção
- Radiação.

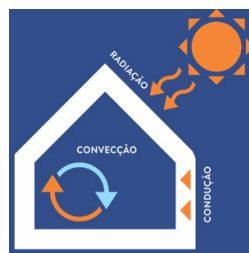


Figura 1: Processos de transferência de calor.

Figura copiada de [1].

### 2.1.1. Condução

Pode-se dizer que a condução de calor é a transição de calor de um ponto de temperatura mais alto para um outro ponto de temperatura mais baixa por propagação num meio estacionário, o qual pode ser sólido, líquido ou gasoso. Sendo assim podemos afirmar que existe sempre uma transferência de energia quando se está sujeito a uma diferença de temperatura.

A quantidade de calor transferida por meio da condução é dada pela lei fundamental da condução também chamada de **Lei de Fourier** [2]. A referida lei determina que a densidade de fluxo de calor que passa por condução através da unidade de área de uma superfície e por unidade de tempo é proporcional ao gradiente espacial da temperatura de acordo com a equação (1).

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (1)$$

em que:

$\dot{Q}$	quantidade de calor transferida por unidade de tempo	[W]
$k$	condutibilidade térmica do material	[W/(m.°C)]
$A$	área de transmissão de calor	[m <sup>2</sup> ]
$T_1$	temperatura da face "quente"	[°C]
$T_2$	temperatura da face "fria"	[°C]
$L$	espessura da parede	[m]

Por vezes a equação anterior pode ser escrita sob a forma diferencial. Para tal será preciso recorrer ao gradiente de temperatura  $dT/dx$  apresentado na equação (2), mas, ao mesmo tempo, será necessário aplicar o sinal negativo à equação de forma a compensar o facto desse gradiente ser sempre negativo.

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

O fluxo de calor por unidade de área é dado pela equação (3):

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (3)$$

A equação anterior dá origem a:

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot A \tag{4}$$

Conjugando a equação (2) e a equação (3), pode-se escrever a lei de Fourier através da equação (5):

$$\dot{q} = -k \cdot \frac{dT}{dx} \tag{5}$$

### Condutibilidade Térmica

A condutibilidade térmica (k)<sup>1</sup> quantifica a capacidade dos materiais de conduzir calor.

A condutibilidade térmica equivale à quantidade de calor Q transmitida através de uma espessura L, numa direção normal à superfície de área A, devido a uma variação de temperatura ΔT quando a transferência de calor se deve apenas a variação de temperatura.

Os valores da condutibilidade térmica encontram-se tabelados para uma grande quantidade de materiais, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, sendo que estes valores podem variar consoante o tipo de material, fase em que se encontra, peso específico, porosidade, humidade e temperatura, conforme se exemplifica na Tabela 1.

Tabela 1: Intervalos de valores da condutibilidade térmica para vários materiais.

Tabela copiada de [2].

Material	Condutibilidade térmica, k (W/(m.°C))
Gases à pressão atmosférica	0,00069 – 0,17
Materiais isolantes	0,034 – 0,21
Sólidos não metálicos	0,034 – 2,6
Metais	52,0 – 410,0

Na Tabela 2 apresentam-se valores da condutibilidade térmica de alguns materiais comuns quando os mesmos se encontram à temperatura de 27°C.

Tabela 2: Valores da condutibilidade térmica de alguns materiais comuns

Material	Condutibilidade térmica (a 27°C) k=[W/(m.K)]
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungsténio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72-0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4-0,8
Madeira (pinho)	0,11-0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Ar	0,026
Espuma de poliuretano	0,020
Polipropileno	0,25
Epoxi	0,30
Epoxi (não cargueada)	0,12-0,177

<sup>1</sup> A condutibilidade térmica de um material é, muitas das vezes, representada pelo símbolo λ.

### 2.1.2. Convecção térmica

A convecção térmica define-se como sendo o modo de transferência de calor entre um escoamento e uma superfície que estão a temperaturas diferentes.

Pode-se considerar dois tipos de convecção:

- Convecção natural ou livre, que é quando o escoamento é causado pelas variações da densidade do fluido;
- Convecção forçada, que acontece quando o escoamento é causado por meios externos.

Contudo, em determinadas situações podem coexistir os dois tipos de convecção e isto é designado por convecção mista.

A convecção regula-se pela designada **Lei de Newton**, representada na equação (6), que estabelece que a quantidade de calor transferido por unidade de tempo é proporcional à área de contacto entre o fluido e a superfície e à diferença de temperatura entre ambos, sendo **h** designado por coeficiente de transferência de calor por convecção [2].

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_p - T_\infty) \quad (6)$$

em que:

$\dot{Q}$	quantidade de calor transferida por unidade de tempo	[W]
$h$	coeficiente de transmissão de calor por convecção	[W/(m <sup>2</sup> .°C)]
$A$	área de transmissão de calor	[m <sup>2</sup> ]
$T_p$	temperatura da parede (superfície)	[°C]
$T_\infty$	temperatura do fluido	[°C]

No caso da temperatura do fluido ( $T_\infty$ ) ser superior à temperatura da parede ( $T_p$ ), a lei de Newton passa a ser escrita de acordo com a equação (7):

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_\infty - T_p) \quad (7)$$

O valor coeficiente de transmissão de calor por convecção (**h**) depende de vários fatores, entre eles a natureza do fluido, o tipo de escoamento, a geometria do corpo com que se interage e a sua determinação pode ser com recurso a métodos analíticos complexos ou a expressões empíricas.

Na Tabela 3 apresentam-se alguns valores representativos do coeficiente de convecção.

Tabela 3: Valores representativos de h para diferentes formas de convecção.

Tabela copiada de [3]

Valores representativos do coeficiente de convecção térmica [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	
Convecção natural	5 - 25
Convecção forçada:	
gases	25 - 250
líquidos	50 - 20 000
Convecção com mudança de fase: ebulição ou condensação	2 500 - 100 000

### 2.1.3. Radiação

Um corpo negro pode ser definido como sendo um corpo que absorve toda a radiação que nele incida, e que, sujeito a uma determinada temperatura, emite o máximo de energia radiante.

O poder emissivo do corpo negro ( $E_b$ ), isto é, a energia emitida por um radiador ideal ou corpo negro, é expressa pela equação (8):

$$E_b = (\sigma \cdot T^4) \quad (8)$$

em que:

$E_b$	poder emissivo	[W/ m <sup>2</sup> ]
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$ )	[W/(m <sup>2</sup> .k <sup>4</sup> )]

A radiação é um modo de transferência de calor que ocorre através da emissão de ondas eletromagnéticas. Pode-se afirmar que, seja qual for o corpo na natureza que se encontra a uma temperatura superior ao zero absoluto, i.e.,  $T > 0 \text{ K}$ , é sempre um emissor térmico e não é preciso que exista um meio transmissor entre as superfícies para que haja transferência de calor.

A lei fundamental da radiação é a **Lei de Stefan-Boltzmann** expressa pela equação (9), a qual estabelece que a energia que um corpo a uma dada temperatura emite sob a forma de radiação designa-se por poder emissivo total.

$$\dot{Q} = A. (\sigma. T^4) \quad (9)$$

em que:

$\dot{Q}$	quantidade de calor transmitida por unidade de tempo	[W]
A	área de transmissão de calor	[m <sup>2</sup> ]
T	temperatura absoluta da superfície	[K]

As superfícies que não emitem tanto quanto um corpo negro, isto é, que emitem apenas uma fração do poder emissivo do corpo negro que se encontra à mesma temperatura, são designadas de corpos cinzentos. Sendo assim será necessário incluir um novo parâmetro na lei de Stefan-Boltzmann, a emissividade ( $\epsilon$ ).

$$\dot{Q} = \epsilon. A. (\sigma. T^4) \quad (10)$$

em que:

$\varepsilon$  Emissividade térmica [-]

De um modo geral podemos dizer que a emissividade de uma superfície pode adotar valores  $0 < \varepsilon < 1$ , sendo que a emissividade de um corpo negro é unitária, isto é,  $\varepsilon = 1$ .

Para corpos reais apenas uma parte da radiação nela incidente é absorvida, por isso deve-se considerar o coeficiente de absorção, ou absorptividade, ( $\alpha$ ), sendo que também este coeficiente pode adotar valores  $0 < \alpha < 1$ .

Sendo assim, temos a equação (11) que inclui o coeficiente de absorção  $\alpha$ :

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (\sigma \cdot T_E^4) \quad (11)$$

em que:

$\alpha$  Coeficiente de absorção ou absorptividade [-]

Um corpo negro absorve a totalidade da radiação incidente e emite a quantidade máxima da radiação térmica possível a uma dada temperatura, isto é, a absorptividade e a emissividade são iguais a 1, ou seja,  $\alpha = \varepsilon = 1$ .

Quando a absorptividade ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\varepsilon$ ) de uma superfície são iguais entre si mas de valor inferior à unidade, ou seja,  $(\alpha = \varepsilon) < 1$ , trata-se de um corpo cinzento, isto é, o corpo não absorve toda a radiação incidente o que significa que parte da radiação é refletida, e emite apenas uma porção da radiação térmica.

Os corpos em que a emissividade e a absorptividade são diferentes entre si, ou seja,  $\alpha \neq \varepsilon$ , são designados por corpos seletivos, isto é, são corpos que emitem e absorvem radiação térmica de forma diferente.

## 2.2. Coeficiente de transmissão térmica

### 2.2.1. Resistência térmica dos materiais

Um determinado edifício caracteristicamente ganha energia térmica de diferentes formas, nomeadamente:

- Radiação solar nele incidente;
- Trocas de condutivas e convectivas com o meio envolvente;
- Ganhos internos (explicados mais à frente).

Deste modo é relevante conseguir a energia sob a forma de calor que as várias envolventes de um edifício deixam passar.

É bastante relevante introduzir o conceito de resistência térmica condutiva ( $R_{t,cond}$ ) para a análise energética de edifícios.

Para uma camada de espessura  $L$  e condutividade térmica  $k$ , a resistência térmica  $R_{t,cond}$  é expressa pela equação (12):

$$R_{t,cond} = \frac{L}{k} \quad (12)$$

em que:

$R_{t,cond}$	resistência térmica condutiva do material	$[W/(m^2.K)]$
$k$	condutividade térmica do material	$[W/(m.K)]$
$L$	espessura do material	$[m]$

Analisando a equação anterior podemos constatar que quanto menor for a condutibilidade térmica de uma matéria, maior será a resistência térmica da mesma, ou, pelo contrário, quanto maior for a espessura da camada, maior será a resistência térmica de uma camada feita desse material.

Substituindo a equação da resistência térmica na equação da condução, obtém-se a equação (13):

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{t,cond}} \quad (13)$$

a qual pode também pode ser escrita sob a forma da equação (14):

$$R_{t,cond} = \frac{T_1 - T_2}{\dot{Q}} = \frac{L}{k.A} \quad (14)$$

Com esta equação é possível calcular a taxa de transferência de calor de uma camada de material através da diferença de temperatura entre os meios separadas pela placa, a área e a resistência térmica do material que a constitui.

A resistência térmica também pode ser aplicada a casos de transferência de calor por convecção numa superfície.

Quando essa superfície está a uma temperatura  $T_s$  superior à temperatura  $T_\infty$  do fluido envolvente, a Lei de Newton da convecção estabelece:

$$\dot{Q} = h.A.(T_s - T_\infty) \quad (15)$$

então podemos reescrever a equação anterior considerando a existência de uma resistência térmica convectiva ( $R_{t,conv}$ ), obtendo-se:

$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{t,conv}} \quad (16)$$

a qual, por sua vez, também pode ser reescrita sob a forma:

$$R_{t,conv} = \frac{1}{h.A} \quad (17)$$

Na Figura 2 exemplifica-se o caso de uma parede plana que separa dois ambientes a temperaturas diferentes (com  $T_{\infty 1} > T_{\infty 2}$ ), sujeita à resistência térmica convectiva nas duas faces e à resistência térmica condutiva ao longo da parede.

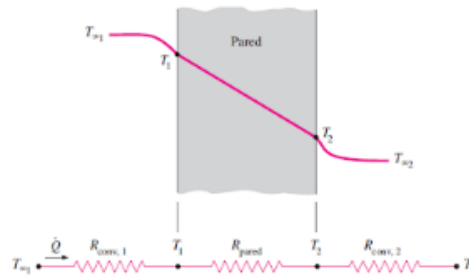


Figura 2: Transmissão de calor através de uma parede.

Figura copiada de [1].

Tomando como exemplo a Figura 2, podemos constatar que o fluxo de calor  $\dot{Q}$  que atravessa o conjunto é:

- Convectivo do fluido à temperatura  $T_{\infty 1}$  para a superfície da parede que se encontra à temperatura  $T_1$ ;
- Condutivo ao longo da espessura da parede, i.e., entre  $T_1$  e  $T_2$ ;
- Convectivo da superfície da parede que se encontra à temperatura  $T_2$  para o fluido que se encontra à temperatura  $T_{\infty 2}$ .

Tendo em consideração que o fluxo de calor é constante por toda a extensão de cada uma das camadas, pelo que é expressa sob a forma da equação (18):

$$\dot{Q} = h_1 \cdot A \cdot (T_{\infty 1} - T_1) = k \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{L} = h_2 \cdot A \cdot (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (18)$$

Esta equação pode ser reescrita sob a forma da equação (19):

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{\frac{1}{h_1 \cdot A}} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{k \cdot A}} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_2 \cdot A}} \quad (19)$$

Somando todos os numeradores e denominadores desta igualdade, obtemos a equação (20):

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}} \quad (20)$$

A equação anterior pode ser ainda simplificada dando origem a equação (21):

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{tot}}} \quad (21)$$

em que  $R_{\text{tot}}$  é a resistência térmica total ao fluxo de calor.

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A} \quad (22)$$

Também se pode considerar a transferência de calor através de materiais compostos por várias camadas de materiais diferentes.

Tendo em conta uma parede ou placa constituída por  $N_c$  camadas de materiais distintos que dividem dois meios (1 e 2), identicamente à situação em cima e assumindo em regime estacionário, onde o fluxo de calor entre as diferentes camadas é igual, obtém-se a seguinte equação (equação (23)) para o fluxo de calor:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^{N_c} R_i} \quad (23)$$

em que:

A	área da parede	[m <sup>2</sup> ]
T <sub>1</sub>	temperatura do meio 1	[K]
T <sub>2</sub>	temperatura do meio 2	[K]
N <sub>c</sub>	número de camadas	[ - ]
R <sub>i</sub>	resistência térmica da camada i	[m <sup>2</sup> .K/W]

### 2.2.2. Coeficiente global de transmissão de calor de uma parede

O coeficiente global de condução térmica (**U**) pode ser definido como sendo a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente o material, por unidade de tempo e superfície, quando sujeito a uma diferença de temperatura unitária entre os ambientes que o mesmo separa [4].

O valor do coeficiente global de condução de calor pode ser influenciadas por alguns fatores tais como:

- Espessura do material;
- Condutividade térmica;
- Resistência térmica.

Também podemos afirmar que quanto menor for o coeficiente U, maior será a eficiência do isolamento térmico do material. Sendo assim, o coeficiente global de condução térmica pode ser definido pela equação (24):

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_c} R_i} \quad (24)$$

em que:

U	coeficiente de transmissão térmica	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
N <sub>c</sub>	número de camadas	[ - ]
R <sub>i</sub>	resistência térmica da camada i	[m <sup>2</sup> .K/W]

Sendo assim, o fluxo de calor entre dois meios por meio de uma parede é dado pela equação (25).

$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot (T_1 - T_2) \quad (25)$$

Considerando que a condução, a convecção e a radiação são os três processos que fazem parte das trocas de calor através das várias envolventes, é fundamental

contabilizar a influência destes dois últimos no coeficiente global de transmissão térmica.

Posto isto, são definidas as resistências térmicas superficiais interiores ( $R_{si}$ ) e as resistências térmicas superficiais exteriores ( $R_{se}$ ), que quantificam a resistência de uma superfície à transmissão de calor por esses meios.

As referidas resistências podem ser calculadas pela equação (26):

$$R_{si/se} = \frac{1}{h_{c,si/se}} + \frac{1}{h_{r,si/se}} \quad (26)$$

em que:

$h_{c,si/se}$	coeficiente de transferência de calor por convecção	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
$h_{r,si/se}$	coeficiente de transferência de calor por radiação	[W/(m <sup>2</sup> .K)]

Podemos definir a resistência total da parede à transferência de calor como sendo a soma das resistências de condução dos diferentes elementos que dela fazem parte, bem como as suas resistências superficiais, obtendo-se:

$$R_{total} = R_{si} + \sum_1^{N_c} R_i + R_{se} \quad (27)$$

Para terminar, o coeficiente global total de uma parede ( $U_{total}$ ) é definido pela equação (28):

$$U_{total} = \frac{1}{R_{total}} \quad (28)$$

A publicação do LNEC intitulada “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios”, vulgarmente designada por ITE 50, destina-se a apoiar a realização de estudos no âmbito do desempenho térmico dos edifícios.

No ITE 50 são apresentados, sob a forma tabular:

- Valores convencionais de cálculo de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, de espaços de ar não-ventilados e de alguns elementos opacos de construção;
- Coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes das envoltentes opacas e envidraçadas dos edifícios.

Os fabricantes apresentam valores de condutibilidade e de resistência térmica para materiais de construção, que são designados de valores declarados. Por outro lado, os materiais podem ser expostos a condições diferentes das que foram adotadas para a determinação do valor declarados, sendo que por isso muitas vezes é preciso calcular o valor de resistência térmica destes materiais tendo em conta estas situações.

Na Tabela 4 podemos constatar alguns dos valores calculados para determinados materiais.

Tabela 4: Condutibilidade térmica alguns materiais segundo ITE 50.

Tabela adaptada de [5].

<b>Materiais</b>	<b>Condutibilidade térmica, valor cálculo, K [W/(m.°C)]</b>
Granito	2,8
Basalto	1,1
Mármore	3,5
Areia, gravilha, seixo, brita	2,0
Cerâmica vidrada/grés cerâmico	1,3

Na Tabela 5 são apresentados alguns valores de resistência térmicas, interiores ( $R_{si}$ ) e exteriores, ( $R_{se}$ ), a adotar para o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica. Estes valores de resistência térmica constam na norma europeia EN 6946:1996. Esta tabela apresenta valores para elementos tais como: paredes; vãos envidraçados; pavimentos; coberturas, que separam espaços aquecidos do ambiente exterior.

Tabela 5: Resistências térmicas superficiais segundo o ITE 50

Tabela adaptada de [5].

<b>Sentido do fluxo de calor</b>	<b>Resistência térmica superficial [(m<sup>2</sup>.°C)/W]</b>	
	<b>Exterior R<sub>se</sub></b>	<b>Interior R<sub>si</sub></b>
Horizontal	0,04	0,13
Vertical		
ascendente	0,04	0,10
descendente	0,04	0,17

Na Tabela 6 são apresentados valores de coeficientes de transmissão térmica para vãos envidraçado simples. Estes valores podem ser adotados para edifícios com diferentes padrões de ocupação, com ou sem ocupação noturna significativa.

Tabela 6: Coeficiente global de calor para vãos envidraçados de caixilharia metálica para locais sem ocupação noturna

Tabela adaptada de [5].

<b>Tipo de vão envidraçado</b>	<b>Número de vidros</b>	<b>Tipo de Janela</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>.°C]</b>
Simples (1 janela)	1 vidro simples	fixa	6,0
		giratória	6,2
		De correr	6,5

### 2.2.3. Inércia Térmica

A inércia térmica ( $I_t$ ) de um determinado edifício é definida como sendo a capacidade de contrariar as oscilações de temperatura no seu interior, i.e., a sua capacidade de limitar a transferência ou transmissão de calor, ou seja, é a consequência da sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos.

A inércia térmica é calculada pela equação (29).

$$I_t = \frac{\sum_{i=1} M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad (29)$$

em que:

$I_t$	inércia térmica	[Kg/m <sup>2</sup> ]
$M_{si}$	massa superficial útil do elemento construtivo i	[Kg/m <sup>2</sup> ]
$r_i$	fator de redução de $M_{si}$	[ - ]
$S_i$	área da superfície interior do elemento	[m <sup>2</sup> ]
$A_p$	área útil de pavimento	[m <sup>2</sup> ]

Conforme se resume na Tabela 7, a inércia térmica de um edifício pode ser classificada como:

- Fraca;
- Média;
- Forte.

Tabela 7: Classes de Inércia Térmica dos edifícios.

Tabela copiada de [6].

Classes de Inércia Térmica	$I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t < 400$

O valor da massa superficial útil do elemento construtivo ( $M_{si}$ ) é a capacidade útil de armazenamento e restituição de calor de um elemento construtivo, é dado pela soma das massas de cada um dos elementos que fazem parte da envolvente, tendo em consideração, para este efeito, exclusivamente, os elementos que se situam do isolamento térmico para o interior do compartimento.

O valor máximo de  $M_{si}$  para cada elemento é de 150 Kg/m<sup>2</sup>.

De acordo com [6], a massa superficial útil do elemento construtivo depende do posicionamento do isolamento térmico (interior, exterior ou intermédio) e da localização do elemento na fração (EL1, EL2 e EL3), em que:

- EL: Elementos da envolvente exterior ou 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.

O fator de redução da massa superficial ( $r_i$ ) pode ser definido como sendo uma propriedade que influencia a massa superficial de um elemento construtivo e que

possibilita analisar de que maneira o tipo de revestimento afeta a capacidade de absorção de calor dos materiais que fazem parte do elemento.

Deste modo podemos afirmar que o fator de redução da massa superficial depende das propriedades do material usado como revestimento, particularmente da sua resistência térmica. Assim sendo podemos afirmar que quanto maior a resistência térmica do material do revestimento:

- Maior obstrução à transmissão de calor;
- Menor a capacidade de armazenamento e restituição de calor do elemento construtivo.

Tabela 8: Fator de redução da massa superficial.

Tabela copiada de [6].

Elemento Construtivo		R (m <sup>2</sup> .°C/W) do elemento revestimento	Fator de correção (r)	Massa superficial útil (a considerar no cálculo da inércia)
EL1 e EL2		R < 0,14	1,0	1,0 × M <sub>si</sub>
		0,14 ≤ R ≤ 0,30	0,5	0,5 × M <sub>si</sub>
		R > 0,30	0	0 × M <sub>si</sub>
EL3	Sem isolamento	R < 0,14	1,0	1,0 × M <sub>si</sub>
		0,14 ≤ R ≤ 0,30 em ambas as faces	0,5	0,5 × M <sub>si</sub>
		R > 0,30 em ambas as faces	0	0 × M <sub>si</sub>
		R < 0,14 em ambas as faces	0,75	0,75 × M <sub>si</sub>
		R < 0,14 numa face e 0,14 ≤ R ≤ 0,30 na outra face	0,50	0,50 × M <sub>si</sub>
		0,14 ≤ R ≤ 0,30 numa face e R > 0,30 na outra	0,25	0,25 × M <sub>si</sub>
	Com isolamento	R < 0,14	1,0	1,0 × M <sub>si</sub>
		0,14 ≤ R ≤ 0,30	0,5	0,5 × M <sub>si</sub>
		0,14 ≤ R ≤ 0,30	0	0 × M <sub>si</sub>

Analisando a Tabela 8 podemos constatar que nos casos em que são utilizados elementos de revestimento com elevada resistência térmica, há diminuição da inércia térmica das frações.

Em contrapartida quando é usado um isolamento térmico no interior, a quantidade de massa superficial útil relaciona-se unicamente à massa da camada de revestimento, isto é, reduz igualmente o valor da inércia térmica.

Para situações em que não é possível a identificação das camadas que constituem cada elemento construtivo foram criadas regras simplificadas que permitem a determinação da classe de inércia térmica para edifícios existentes, conforme (Tabela 9).

Tabela 9: Regras de simplificação para determinação da classe da inércia térmica.

Tabela copiada de [6].

Requisitos	
<b>Inércia Forte</b>	Sem soluções de isolamento térmico pelo interior
	Pavimento e teto em betão armado ou pré-esforçado
	Revestimento de teto em estuque ou reboco
	Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, exceto pavimentos flutuantes
	Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco
	Paredes do envolvente interior em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco
<b>Inércia Fraca</b>	Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura)
	Revestimento de piso tipo flutuante ou pavimento de madeira
	Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação
<b>Inércia Média</b>	Caso não se verifiquem cumulativamente os requisitos de inércia Forte ou Fraca

### 2.3. Ganhos nos edifícios

Este subcapítulo é dedicado à abordagem teórica dos principais tipos de calor num edifício, sendo estes:

- Ganhos internos, mais concretamente os resultantes da radiação solar;
- Ganhos internos, dentro os quais a ocupação e a atividade humana, bem como os resultantes da existência de equipamentos e de iluminação.

#### 2.3.1. Ganhos externos

Os ganhos de calor externos em edifícios estão relacionados à quantidade de calor que é transferida para o interior de um edifício através de fontes externas como é o caso da radiação solar.

##### Radiação solar

A radiação solar é fluxo de energia que pode ter maior impacto em climas com elevada exposição solar, tal como é caso de Portugal.

A radiação solar chega a superfície terrestre de três formas diferentes (Figura 3):

- Radiação direta: radiação solar que sai do Sol até a superfície terrestre sem ter sido desviada ou dispersa;

- Radiação difusa: porção da luz solar que é dispersa em várias direções pela atmosfera antes de atingir a superfície terrestre;
- Radiação refletida: radiação que é refletida pelas diferentes superfícies de volta para a atmosfera.



Figura 3: Radiação solar na atmosfera.

Figura copiada de [7].

O ângulo de altitude solar<sup>2</sup>, ou seja, o ângulo com que a radiação solar incide sobre a superfície terrestre determina a quantidade de energia solar que incide no edifício.

Um menor ângulo de altitude solar, que normalmente ocorre no inverno, traduz-se numa maior dispersão da luz solar na superfície terrestre, ao contrário do verão em que o ângulo de altitude solar é maior.

Ao longo do ano os ângulos de altitude solar vão variando em cada dia, mostrando-se na Figura 4 as diferentes trajetórias aparentes do Sol no Inverno (ângulos de altitude solar baixos) e no Verão (ângulos de altitude solar elevados).

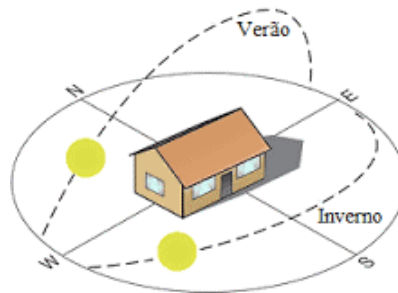


Figura 4: Trajetórias aparentes do Sol no hemisfério Norte.

Figura copiada de [8].

O ângulo de altitude solar define igualmente se a energia solar direta atinge ou não as janelas. Na Figura 5, que configura o caso de edifícios situados no hemisfério norte, podemos observar que no inverno a luz solar consegue entrar no edifício com maior facilidade pelas janelas, já no verão as palas impossibilitam a luz solar de entrar diretamente no edifício. No inverno, pode ocorrer o oposto, com áreas do edifício ficando sombreadas, enquanto no verão isso não ocorre.

<sup>2</sup> Ângulo de altitude solar (ou Altura solar, ou Altitude solar, ou Elevação solar) é o ângulo formado pelos raios solares com o plano horizontal.

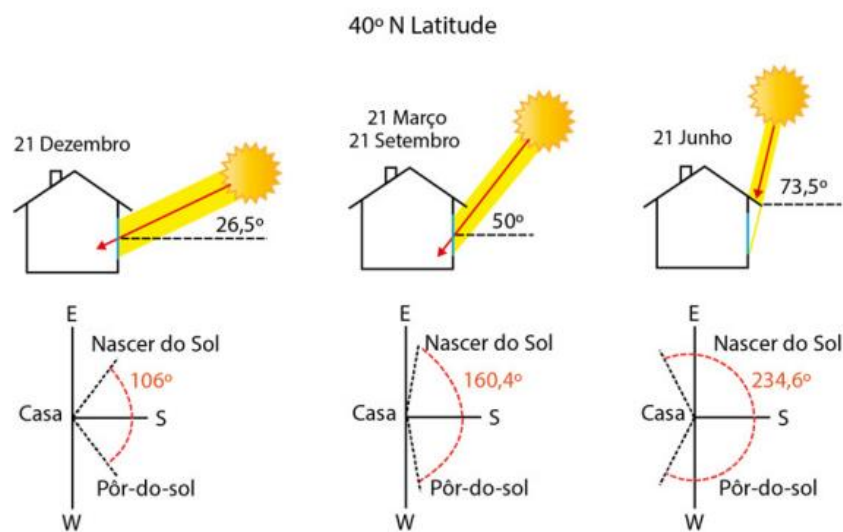


Figura 5: Ângulo de altitude solar (em cima) e amplitude da exposição solar (em baixo) para uma janela virada a sul, localizada na latitude 40°N.

Figura copiada de [9].

### 2.3.2. Ganhos Internos

Os ganhos internos de um determinado edifício podem ser descritos como sendo todas as fontes de calor que se situam no interior de um determinado edifício, que podem estar associadas a pessoas, a equipamentos ou à iluminação. A primeira situação diz respeito ao calor gerado pelas atividades metabólicas das pessoas que vivem e/ou trabalham neste local. A segunda situação diz respeito ao calor gerado pelos equipamentos que se encontram e são utilizados dentro do edifício.

#### Quantidade de pessoas e Atividade humana

Os ganhos de calor no edifício em consequência da atividade humana podem ter maior ou menor relevância na contabilização das cargas térmicas, isso porque depende da ocupação e da atividade realizada.

Conforme se exemplifica através da Figura 6, existem quatro mecanismos pelo qual se dá a transferência de calor entre o corpo humano e o meio ambiente:

- Convecção: calor trocado entre o ar e pele/roupa devido a diferença de temperatura entre os mesmos;
- Radiação: transferência de calor por radiação que se dá entre pele/roupa e as superfícies envolventes devido à diferença de temperatura entre elas;
- Respiração: transferência de calor que se dá devido à diferença de temperatura entre o ar inspirado e o ar expirado;
- Evaporação: calor liberado para o ambiente devido à evaporação de água (normalmente suor) na superfície da pele.

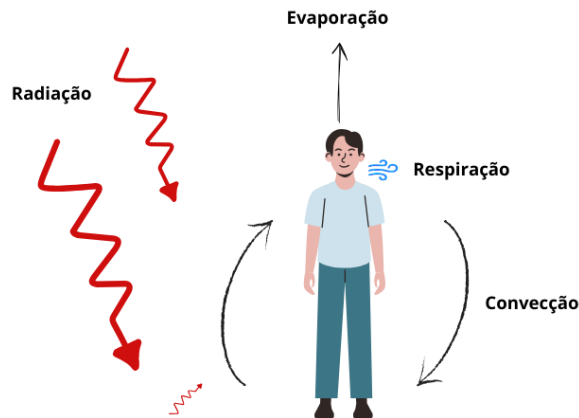


Figura 6: Mecanismos de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia.

Figura adaptada de [10].

Analisando a Tabela 10 pode-se perceber que num compartimento ou edifício com atividade ou ocupação muito baixa os ganhos internos devido a estes serão igualmente baixos. Já em ginásios ou até em escritórios com grande ocupação já é expectável que estes contribuam consideravelmente no comportamento térmico do edifício.

Tabela 10: Níveis de metabolismo conforme a atividade realizada.

Tabela copiada de [9].

Atividade	W (W)
Em repouso	80 – 100
Atividade sedentária	100 – 120
Trabalho leve	140 – 180
Trabalho moderado	200 – 300
Ginástica	300 – 400
Desporto de competição	400 – 600

### Iluminação

Os ganhos associados à iluminação nos dias que correm já não contribuem tanto como antigamente devido à utilização da tecnologia LED<sup>3</sup> visto que esta tem uma maior eficiência quando comparada com lâmpadas incandescentes ou fluorescentes. Enquanto apenas 5% da energia elétrica consumida é convertida em luz pelas lâmpadas incandescentes, as lâmpadas LED podem converter até 40% da energia que consomem.

### Equipamentos

Qualquer equipamento dentro de um edifício dissipa energia, em consequência da sua ineficiência. Equipamentos como computadores, televisões ou projetores contribuem para o aquecimento de um determinado edifício, e mesmo com o contínuo aumento da eficiência destes equipamentos devido ao desenvolvimento da tecnologia, um uso prolongado destes aumenta consideravelmente o seu contributo térmico.

<sup>3</sup> LED: Light Emitting Diode.

Os ganhos de calor destinados à climatização do espaço não devem ser considerados como sendo ganhos internos.

Para a estação de aquecimento, isto é, o inverno, a presença de ganhos é vantajosa do ponto de vista da economia de energia, por isso é muitas vezes desconsiderada no cálculo das necessidades energéticas.

Já na estação de arrefecimento (verão), ao contrário do inverno, os ganhos internos não são favoráveis e, portanto, devem ser incluídos na estimativa das necessidades de arrefecimento.

## **2.4. Simulação dinâmica de edifícios**

A simulação dinâmica dos edifícios permite determinar as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento ao longo do tempo. Devido à complexidade dos edifícios como um todo, a análise através da simulação dinâmica permite avaliar parâmetros de desempenho, tais como as suas necessidades energéticas para climatização e as condições de conforto interno.

Para realizar a simulação dinâmica de um edifício, é indispensável a criação de um modelo que leve em consideração diversos parâmetros, como:

- Condições climáticas locais;
- Geometria do edifício;
- Materiais da estrutura externa;
- Ganhos internos;
- Sistemas de climatização;
- Perfis de uso;
- Ocupação.

A simulação de um edifício possibilita calcular o consumo de energia (iluminação, equipamentos, climatização, etc.) e suas causas, permitindo assim analisar as melhores opções para reduzir esse consumo.

Para o caso de Portugal, o ponto 3.2.1. da Portaria nº 349-D/2013 de 2 de Dezembro de 2013, diz que simulações para certificação energética de edifícios devem ser efetuadas por softwares certificados de acordo com a norma ASHRAE 140, os quais devem ter capacidade mínima para modelar [9]:

- Mais do que uma zona térmica;
- Incrementos de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- A variação horária das cargas internas, diferenciadas entre ocupação, iluminação e equipamentos;

- Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins-de-semana;
- A recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito da massa térmica do edifício.

Existem vários softwares que permitem fazer a simulação térmicas de edifícios, dos quais se destacam:

- TRACE 700
- EnergyPlus
- CARRIER HAP – Hourly Analysis Program
- CYPETHERM LOADS (que será utilizado, mais adiante, na concretização do caso de estudo)

### **TRACE 700**

O TRACE 700 é um software avançado utilizado na indústria de AVAC<sup>4</sup> (Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado) para a análise detalhada e simulação de desempenho energético de edifícios comerciais e industriais. O TRACE 700 permite calcular com precisão as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. Isso inclui considerações detalhadas como ganhos solares, ganhos internos (de equipamentos e ocupantes), perdas de calor através de paredes e janelas, entre outros fatores. Este software é formado por cinco fases principais [11]:

- Load Phase: nesta fase são realizados cálculos de cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento considerando a envolvente opaca do edifício e as aberturas envidraçadas especificadas pelo utilizador, além dos horários de operação, intensidades de iluminação e carga de equipamentos. Também leva em conta a orientação das zonas e a zona climática em que o edifício está localizado;
- Design Phase: nesta fase realiza-se o cálculo das cargas para as condições de projeto. Para isso são necessários os dados do sistema de climatização que será utilizado, além das informações previamente mencionadas na fase inicial;
- Air Side System: esta fase consiste em traduzir os ganhos térmicos do edifício e as perdas por atrito dos equipamentos de AVAC envolvidos em fluxos de ar, considerando o funcionamento geral do sistema de climatização e tratamento de ar;
- Equipment Simulation Phase: nesta fase as cargas dos equipamentos são convertidas em consumo energético por fonte;

Por fim é necessário introduzir dados económicos como, custos de instalação e manutenção.

---

<sup>4</sup> HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning, em inglês.

## **EnergyPlus/DesignBuilder**

O EnergyPlus é um software de cálculo importante para simulação energética de edifícios desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE). Já o DesignBuilder é uma interface que simplifica a modelagem e a análise de desempenho ambiental e energético de edifícios usando o EnergyPlus.

O EnergyPlus permite:

- Calcular cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento;
- Obter dados concretos do consumo de energia, emissões de carbono e conforto térmico em diferentes escalas de tempo, isto é, anual, mensal, diária, horária e sub-horária;
- Saber informações acerca dos ganhos solares em superfícies, temperaturas de superfície e trocas radiantes;
- Efetuar simulações com dados climáticos reais, que permite compreender como o edifício se comportaria em condições operacionais reais.

## **HAP (Hourly Analysis Program)**

O Hourly Analysis Program da Carrier é um software para projetar e analisar sistemas de AVAC. Este software é formado por duas ferramentas, sendo que a primeira destina-se a determinar cargas e projetar sistemas e a segunda tem por finalidade simular o consumo energético do edifício e calcular os custos energéticos.

No decorrer da análise energética o HAP realiza as seguintes tarefas [9]:

- Simula a operação hora-a-hora de todos os sistemas de aquecimento e ar condicionado no edifício;
- Simula a operação hora-a-hora de todos os equipamentos da central do edifício;
- Utiliza os resultados das simulações de hora-a-hora para calcular o uso anual total de energia e seus custos;
- Gera relatórios, em formato de tabela ou de gráfico, de dados horários, diários, mensais e anuais.

## **CYPETHERM LOADS**

O CYPETHERM LOADS faz parte do fluxo de trabalho do Open BIM<sup>5</sup> e permite a importação de modelos BIM criados por programas de CAD/BIM através do standard IFC<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> BIM (Building Information Modeling) é um processo de planejamento, projeto, execução e manutenção de uma construção. O seu núcleo é o modelo do edifício constando de todas as informações úteis para o ciclo de vida de uma obra.

<sup>6</sup> IFC, Industry Foundation Classes, é um formato de dados que visa permitir a troca de modelos de informações sem perda ou distorção de dados.

Os dados climáticos do software fazem parte do ASHRAE Weather Data Viewer 4.0, enquanto as bases de dados dos materiais fazem parte do LNEC (através do ITE50) e da norma EN ISO 10456.

O CYPETHERM LOADS permite detetar arestas a partir do modelo BIM e gerar automaticamente as correspondentes pontes térmicas lineares, com base nas soluções construtivas adotadas e na descrição térmica do edifício (zonas, descrição dos espaços, etc.). Os coeficientes de transmissão das pontes térmicas lineares podem ser obtidos do catálogo da norma ISO 14683 ou calculados por meio de uma análise por elementos finitos conforme a norma ISO 10211.

Para o cálculo das cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento pode-se optar por utilizar o Método das Séries Temporais Radiativas (RTS) proposto pela ASHRAE ou então optar pelo cálculo das cargas pela EN 12831.

Nos próximos dois capítulos a utilização do CYPETHERM LOADS será explicada de forma mais detalhada.

# Capítulo 3

## BIMserver.center

### 3. BIMserver.center

O BIMserver.center é uma plataforma colaborativa de projetos de arquitetura, engenharia e construção que tem como objetivo ser uma rede onde profissionais podem trabalhar em projetos comuns utilizando uma vasta seleção de softwares especializados. O Bimserver.center possibilita ao utilizador administrar, compartilhar e atualizar projetos BIM na nuvem.

Para a realização deste trabalho recorreu-se a uma conta no BIMserver.center (Figura 7), com o objetivo de criar um projeto e descarregar os softwares necessário para fazer a modelação arquitetónica e o cálculo das cargas térmicas.

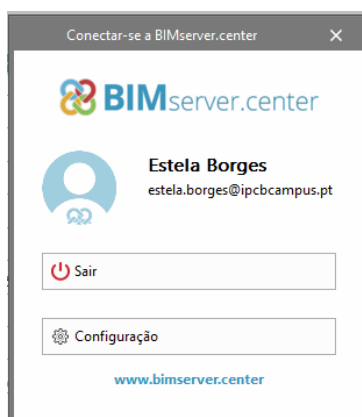


Figura 7: Conta no BIMserver.center.

Também foi nesta plataforma que foi criado o projeto denominado de “Bloco C Novo”, que foi considerado como sendo um projeto formativo.

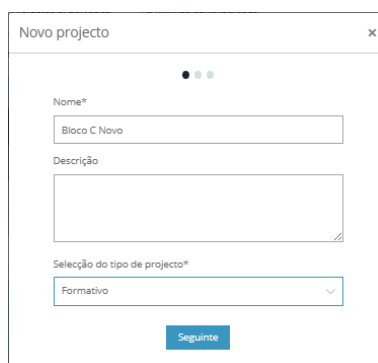


Figura 8: Criação do projeto no BIMserver.center.

Com o projeto criado já é possível trabalhar e fazer alterações nos softwares pretendidos.



Figura 9: Projeto “Bloco C Novo” no BIMserver.center.

### 3.1. IFC Builder

O IFC Builder é um programa do BIMserver.center desenvolvido para criação e manutenção de modelos IFC de edifícios.

A introdução de dados é feita utilizando um ambiente CYPE, que se pode efetuar através da importação de ficheiros, o que permite uma otimização do tempo para a realização do projeto.

O software permite a modelação da realidade de forma precisa e rápida a partir de um ambiente BIM, onde como resultado é possível visualizar áreas, volumes e altura livre entre lajes dos compartimentos. Também é possível visualizar ou imprimir qualquer vista 3D do modelo, além de exportá-la para a plataforma BIMserver.center.

Dentro do IFC Builder é possível encontrar diferentes menus que possibilitam todo o processo de modelação.

#### Menus

O menu ARQUIVO (Figura 10) permite realizar operações de manutenção de ficheiros de obra, impressão e gestão da licença eletrónica.

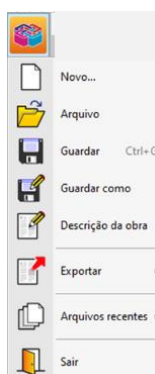


Figura 10: Menu Arquivo - IFC Builder.

Dentro do menu ARQUIVO existem os submenus:

- NOVO: que permite criar um ficheiro novo;
- ARQUIVO: que permite abrir um ficheiro, criar um novo, copiar, apagar, procurar, comprimir, descomprimir, enviar e partilhar ficheiros de obras;
- GUARDAR: permite guardar a obra em desenvolvimento;

- **GUARDAR como:** permite gravar a obra em desenvolvimento com outro nome ou noutra pasta;
- **DESCRIÇÃO DA OBRA:** este menu abre um diálogo que serve para alterar a descrição da obra;
- **Arquivos recentes:** permite aceder aos últimos ficheiros de obras;
- **Sair:** serve para abandonar o programa

Na aba “PROJECTO” (Figura 11) é possível encontrar as abas:



Figura 11: Aba Projeto - IFC Builder.

- **BIBLIOTECAS:** permite ter acesso à lista de elementos constituintes da obra;
- **SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS:** permite ter acesso a catálogos de materiais e elementos construtivos;
- **ORIENTAÇÃO:** permite definir a orientação do edifício;
- **MOVER O EDIFÍCIO:** permite deslocar todo o edifício, incluindo as instalações, para as coordenadas especificadas;
- **IMPORTAR IFC:** permite a importação de modelos CAD OU BIM;
- **NUVEM DE PONTOS:** este menu apresenta duas opções (Figura 12), sendo elas:
- **FICHEIRO:** faz a leitura de ficheiros de nuvens de pontos que servem como apoio para modelar no ambiente BIM;
- **VISIBILIDADE:** permite seleccionar quais os pontos a mostrar.

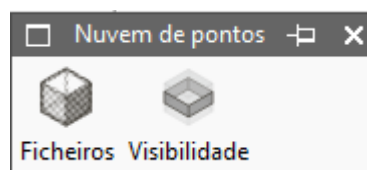


Figura 12: Menu Nuvem de pontos - IFC Builder.

- **VISTA 3D:** possibilita a visualização 3D do edifício.

A aba PLANTA/GRUPO (Figura 13) é constituída pelos menus:

- **PLANTAS/GRUPOS:** permite introduzir as plantas e definir o plano base do edifício;
- **COPIAR GRUPO:** permite copiar os dados introduzidos num grupo.



Figura 13: Aba Plantas/Grupos - IFC Builder.

Na aba ARQUITETURA (Figura 14) é possível encontrar os seguintes menus:

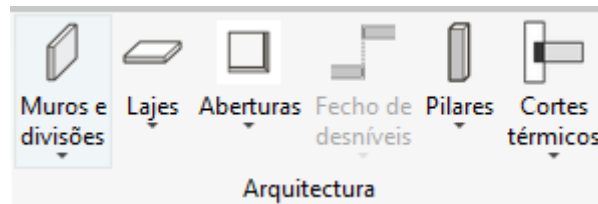


Figura 14: Aba Arquitetura - IFC Builder.

- **MUROS E DIVISÕES:** permite introduzir, editar, mover, ajustar, inverter o sentido de introdução, unir, dividir, copiar e apagar paredes, muros, proteções, gradeamentos e divisões virtuais;

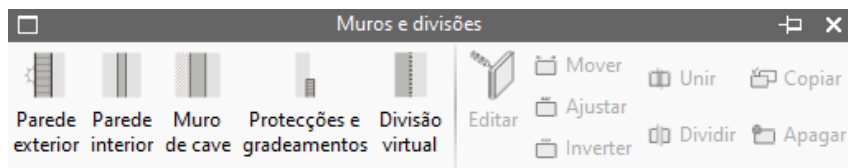


Figura 15: Menu Muros e divisões - IFC Builder.

- **LAJES:** permite introduzir pavimentos térreos, lajes entre pisos, coberturas planas e inclinadas, desníveis horizontais e inclinados e aberturas em lajes, sendo também possível editar, mover, inserir, dividir, copiar e apagar todos estes elementos.



Figura 16: Menu Lajes - IFC Builder.

- **ABERTURAS:** permite a introdução de portas, janelas e claraboias, sendo possível também editar, mover, ajustar, rodar, copiar e apagar.

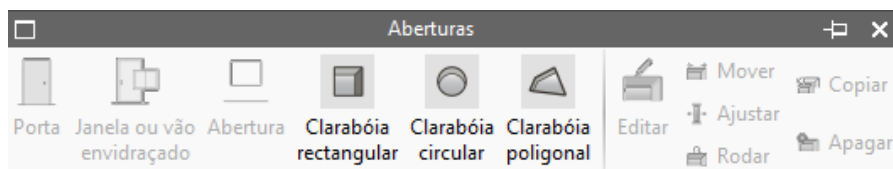


Figura 17: Menu Aberturas - IFC Builder.

- **FECHO DE DESNÍVEIS:** permite definir parede ou muro diferente que possam existir caso exista um desnível horizontal nas lajes.
- **PILARES:** introdução de pilares e definir o seu ponto fixo.
- **CORTES TÉRMICOS:** permite criar e introduzir características de cortes térmicas.

Na aba COMPARTIMENTOS (Figura 18) é possível criar compartimentos para mais tarde atribuir a zonas delimitadas por paredes e muros, sendo também, possível editar, mover, copiar, procurar ou apagar estes compartimentos.

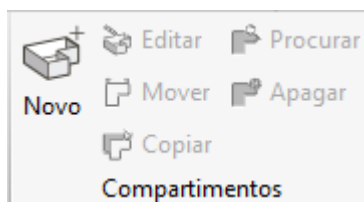


Figura 18: Aba Compartimentos - IFC Builder.

Dentro a aba GRUPO DE COMPARTIMENTOS (Figura 19) encontram-se os menus:

- EDITAR: permite criar e editar grupos especificando, atribuindo o seu nome e cor representativa em planta;
- ATRIBUIR: permite identificar quais os compartimentos que pertencem a um determinado grupo;
- DESATRIBUIR: permite eliminar a atribuição de compartimentos pertencentes a grupos.

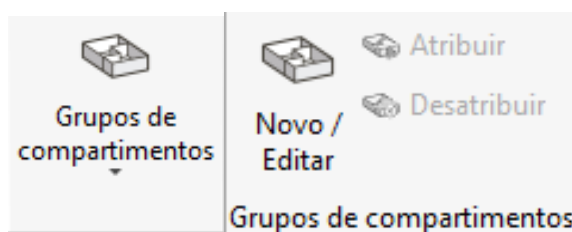


Figura 19: Aba Grupos de compartimentos - IFC Builder.

A aba EDIFÍCIOS PRÓXIMOS E OUTROS OBSTÁCULOS (Figura 20) possibilita a introdução de áreas e alturas de edifícios ou obstáculos próximos do edifício com a qual se encontra a trabalhar.

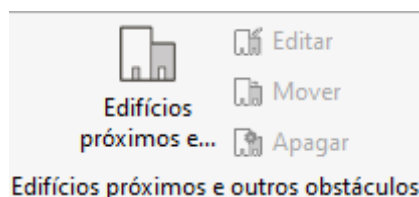


Figura 20: Aba Edifícios próximos e outros obstáculos - IFC Builder.

Dentro da aba EDIÇÃO (Figura 21) encontram-se os seguintes menus:

- EDITAR: que permite editar muros, paredes, portas, envidraçados, lajes, compartimentos e equipamentos;
- MOVER: que permite mover todos ou alguns dados do modelo arquitetónicos;
- RODAR: que permite rodar todos ou alguns dados;
- COPIAR: permite copiar e colar elementos da planta;
- APAGAR: permite apagar todos ou parte dos elementos da planta;

- SIMETRIA: permite cortar e colar com simetria relativamente a um eixo, todos ou parte dos elementos da planta;
- INFORMAÇÃO: permite observar no ecrã informações sobre o compartimento selecionado.

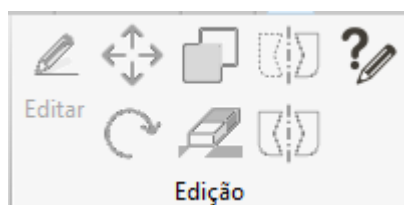


Figura 21: Aba Edição - IFC Builder.

Na aba RESULTADOS encontram-se os seguintes menus:

- CALCULAR: permite efetuar realizar o cálculo para verificar a existência de erros de introdução de dados;
- MOSTRAR RESULTADOS: permite mostrar os resultados relativos ao último cálculo realizado;
- MOSTRAR ARESTAS: possibilita a visualização no ambiente de trabalho de todas as arestas verticais ou horizontais;
- MOSTRA/ OCULTAR INCIDÊNCIAS: permite ativar ou ocultar erros da obra [12].

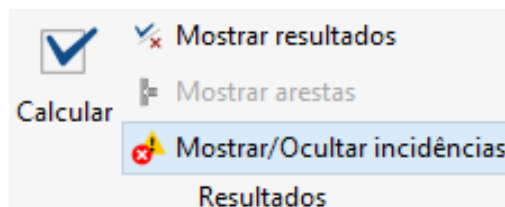


Figura 22: Aba Resultados - IFC Builder.

### 3.2. CYPETHERM LOADS

O CYPETHERM LOADS é um software desenvolvido pela CYPE que tem como objetivo o cálculo das cargas térmicas em edifícios, tanto para aquecimento quanto para arrefecimento.

O software para realizar o cálculo das cargas térmicas de um edifício considera fatores como a localização geográfica, a orientação do edifício em estudo, o tipo de espaço e o seu uso previsto bem como as suas características construtivas. Realiza igualmente análises detalhadas das condições térmicas, considerando aspetos como ganhos solares, ventilação e ganhos internos.

Tal como referido anteriormente, o cálculo das cargas pode ser realiza segundo as normas da ASHRAE ou segundo a EN 12831.

O CYPETHERM LOADS possibilita a visualização gráfica dos resultados, o que facilita a interpretação destes resultados e das zonas críticas do projeto.

Dentro do menu ARQUIVO (Figura 23), é possível encontrar os seguintes submenus:

- NOVO: permite criar um ficheiro novo;
- ARQUIVO: permite abrir, criar, copiar, apagar, procurar, comprimir, descomprimir, enviar e partilhar ficheiros de obras;
- GUARDAR: permite guardar a obra em desenvolvimento;
- GUARDAR COMO: permite gravar a obra em desenvolvimento com outro nome, ou em outra pasta;
- DESCRIÇÃO DE OBRA: este menu abre um diálogo que para alterar a descrição da obra;
- DESENHOS: permite aceder aos desenhos do programa;
- ARQUIVOS RECENTES: permite aceder aos últimos ficheiros de obras;
- SAIR: serve para abandonar o programa.

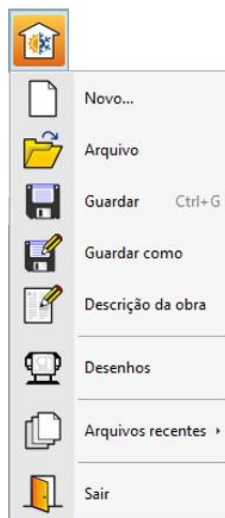


Figura 23: Menu Arquivo - CYPETHERM LOADS.

Na aba MODELO TÉRMICO (Figura 24), é possível encontrar diferentes menus, tais como:

- GRUPO: permite definir grupo dentro do projeto em estudo;
- COMPARTIMENTO: permite atribuir compartimentos aos grupos;
- ADICIONAR: permite adicionar compartimentos;
- DUPLICAR: permite duplicar compartimentos;
- APAGAR: permite apagar compartimentos;
- PROCURAR: permite procurar dados do projeto;
- ATRIBUIR TIPOLOGIA: permite atribuir propriedades a um ou mais elementos;
- PROCESSAMENTO DE ARESTAS: permite selecionar a norma com qual se pretende que o cálculo de arestas seja feito;
- MOSTRAR/OCULTAR INCIDÊNCIAS: permite mostrar ou ocultar as incidências.

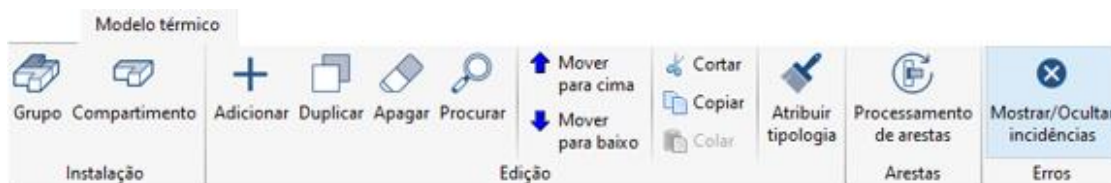


Figura 24: Aba Modelo térmico - CYPETHERM LOADS.

Na aba CÁLCULO (Figura 25) é possível encontrar os menus:

- DADOS DA LOCALIZAÇÃO: permite definir informações da localização, podendo aceder a base de dados climáticos da ASHRAE;
- OPÇÕES DE CÁLCULO: permite definir as opções de cálculo das cargas térmicas;
- HIPÓTESES: permite definir hipóteses de zoneamento de compartimentos;
- ZONA: permite criar zonas de locais climatizados;
- ATUALIZAR CÁLCULO: permite calcular ou atualizar os resultados para os dados inseridos;
- SELECIONAR: permite selecionar a análise gráfica a visualizar;
- Intervalos: permite definir os intervalos para uma determinada carga máxima;
- LISTAGEM DE CARGAS TÉRMICAS: permite gerar a listagem com os resultados das cargas térmicas;
- LISTAGEM COMPLEMENTARES: permite gerar a listagem com a descrição dos materiais e elementos construtivos e o cálculo do fator de redução.

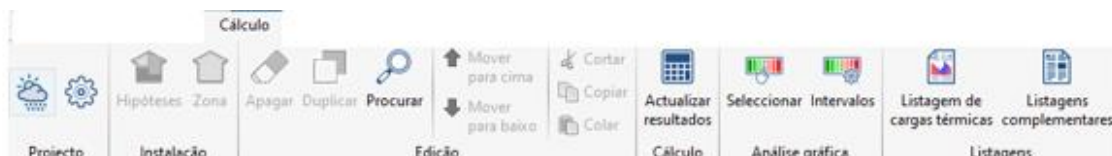


Figura 25: Aba Cálculo - CYPETHERM LOADS.

Na aba DESENHO (Figura 26) encontram-se os seguintes menus [13]:

- GERAR: permite gerar os desenhos colocando os elementos construtivos sobre as vistas;
- OPÇÕES: permite definir opções para gerações de desenhos;
- MOVER ETIQUETA EM MODO 2D: permite mover a etiqueta numa vista 2D;
- MOVER ETIQUETA EM MODO 3D: permite mover a etiqueta numa vista 3D;
- MOVER ETIQUETA AO PONTO INICIAL: permite mover a etiqueta ao ponto inicial;
- MOSTRAR/OCULTAR ETIQUETA: permite mostrar ou ocultar uma etiqueta;
- COLOCAR OU ELIMINAR A LINHA DE REFERÊNCIA DA ETIQUETA: permite introduzir ou eliminar a linha de referência da etiqueta;
- RODAR ETIQUETA: permite rodar uma etiqueta.

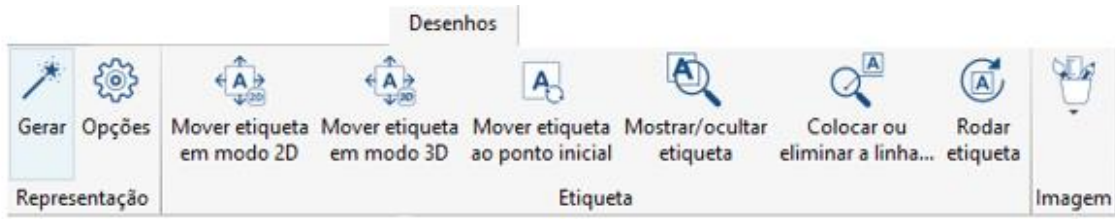


Figura 26: Aba Desenho - CYPETHERM LOADS.

# Capítulo 4

## Caso de Estudo

## 4. Caso de Estudo

Neste capítulo pretende-se caracterizar o caso de estudo deste projeto. Para tal serão apresentadas:

- As características do edifício e das suas envolventes;
- As características psicométricas interiores e exteriores,
- Os ganhos internos e externos;
- Os perfis de utilização;
- Todos os processos/passos realizados, desde o tratamento das plantas do edifício até à introdução dos dados no software para o cálculo das cargas térmicas.

Para a realização deste projeto foi escolhido um dos edifícios da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, uma das Unidades Orgânicas do Instituto Politécnico e Castelo Branco.

A Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, adiante designada apenas por ESTCB, encontra-se localizada na cidade de Castelo Branco, mais precisamente no Campus da Talagueira, a uma cota de 384 metros (aproximadamente).

De acordo com [14], devido à sua localização geográfica, Castelo Branco caracteriza-se por:

- Temperatura média no verão acima dos 27,8°C, no qual Agosto é o mês mais quente do ano com temperaturas médias de 31,1°C;
- Temperatura máxima de inverno geralmente inferior a 15,6°C, sendo que Janeiro é o mês mais frio com temperaturas médias mínimas de 1,7°C e máximas de 11,7°C.

Com base nas NUTS <sup>7</sup> – Unidades territoriais para fins estatísticos de Portugal, Castelo Branco está inserido nas NUTS III – Unidades de nível III naquilo a que se convencionou designar por Beira Interior Sul (Figura 27).

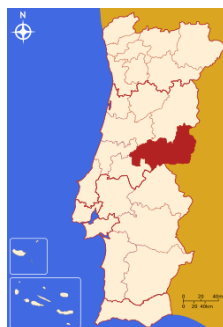


Figura 27: Localização da Beira Interior Sul.

Figura copiada de [https://pt.wikipedia.org/wiki/Beira\\_Baixa\\_\(sub-regi%C3%A3o\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Beira_Baixa_(sub-regi%C3%A3o)).

<sup>7</sup> As NUTS, acrónimo para Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos, correspondem a uma nomenclatura comum, das unidades territoriais estatísticas, estabelecida pela União Europeia (UE) para permitir a recolha, o tratamento e a publicação de estatísticas regionais harmonizadas na União Europeia.

Nas NUTS III são definidas 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.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD)<sup>8</sup> na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento. Já as zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ )<sup>9</sup>.

Tal como é ilustrado na Figura 28, na NUTS III (zona climática onde fica localizado o edifício de estudo) é caracterizada como sendo verão V3 e Inverno I1, ou seja:

- V3:  $\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
- I1:  $\text{GD} \leq 1300$

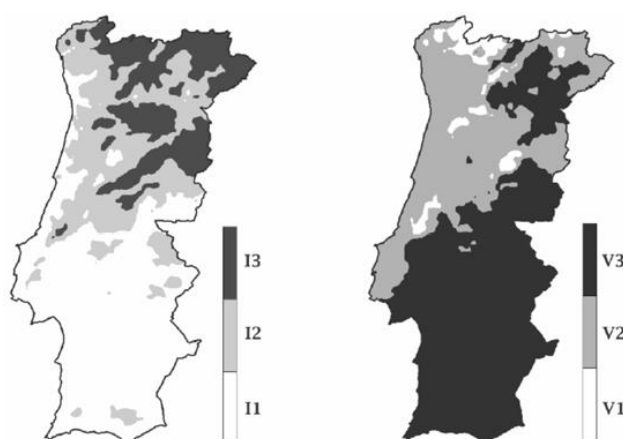


Figura 28: Zonas climáticas de inverno (à esquerda) e de verão (à direita).

Figura copiada de [15].

Na Figura 29 apresenta-se uma vista aérea dos edifícios que compõem a ESTCB, assinalando-se na imagem o Bloco C que será objeto de estudo.

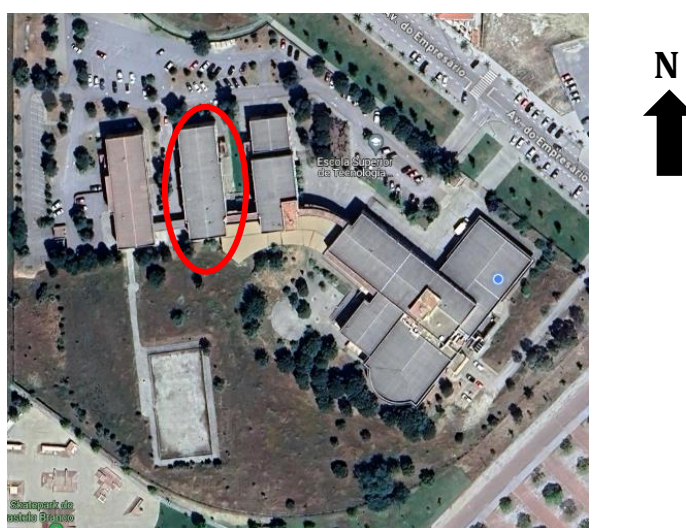


Figura 29: Vista aérea da ESTCB, com identificação do edifício que foi objeto de estudo.

<sup>8</sup> GD: Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento.

<sup>9</sup>  $\theta_{ext,v}$ : Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento.

#### 4.1. Caracterização do edifício

O Bloco C da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco é um edifício de apenas dois pisos, estando orientado longitudinalmente segundo o eixo N-S (aproximadamente).

O piso 0 (Figura 30) tem um pé-direito de 5m e é constituído pelos seguintes locais:

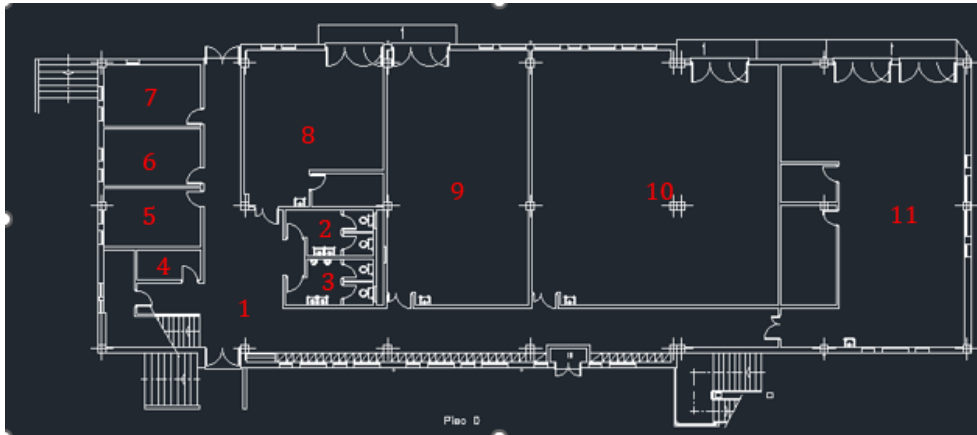


Figura 30: Planta do piso térreo do Bloco C.

- 1 Zona de circulação
- 2 Instalações Sanitárias Femininas
- 3 Instalações Sanitárias Masculinas
- 4 Sala de arrumos
- 5 Gabinete C1
- 6 Gabinete C2
- 7 Gabinete C3
- 8 Laboratório C1 (Conceção e Projeto)
- 9 Laboratório C2 (Fluidos e Calor)
- 10 Laboratório C3 (Robótica e Equipamentos Inteligentes)
- 11 Laboratório C4 (Estrutura e Construção)

Já o piso 1 (Figura 31) tem um pé-direito de 3,5 m e é constituído pelos seguintes espaços:

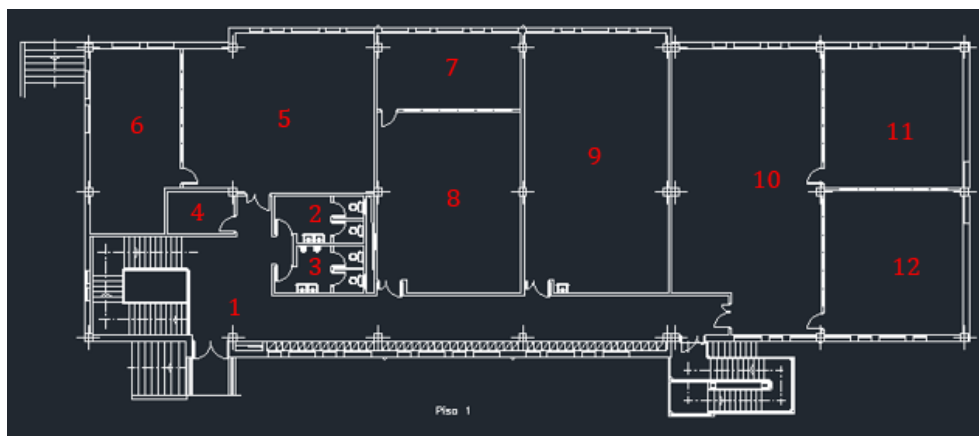


Figura 31: Perspetiva do piso 1 do Bloco C.

- 1 Zona de circulação
- 2 Instalações Sanitárias Femininas
- 3 Instalações Sanitárias Masculinas
- 4 Laboratório C5 (Eletrónica)
- 5 Laboratório C6 (Telecomunicações)
- 6 Laboratório C7 (Redes)
- 7 Laboratório C8 (Telecomunicações)
- 8 Laboratório C9 (Eletrónica)
- 9 Laboratório C10 (Sistemas e Inovação)
- 10 Laboratório C11 (Investigação e Desenvolvimento)
- 11 Laboratório C12 (Sistemas Programáveis)
- 12 Laboratório C13 (Informática Computacional)

De seguida são apresentadas as dimensões de alguns elementos construtivos bem como diversas características do edifício, as quais foram obtidas a partir de medições feitas no decorrer de várias visitas efetuadas ao local.

Pé direito:

Piso 0 5,00 m

Piso 1 3,50 m

Lajes (espessura):

Térrea ..... 0,30 m

Entre pisos ..... 0,40 m

Cobertura..... 0,30 m

Paredes (espessura):

Exteriores ..... 0,32 m

Interiores .....0,15 m

Divisões de pladur interiores.....0,10 m

Janelas dos gabinetes e/ou laboratórios

Janelas fixas..... 0,70 × 1,60 m

Janelas de correr ..... 1,40 × 1,60 m

Janelas dos corredores

Janelas pequenas ..... 0,70 × 0,70 m

Janelas grandes..... 1,40 × 0,70 m

Janelas dos gabinetes ..... 0,70 × 0,70 m

Janelas da escadaria (parte superior)..... 0,70 × 2,80 m

Janelas da escadaria (parte inferior)..... 0,70 × 1,35 m

Portas

Portas principais de acesso ..... 1,80 × 2,80 m

Portas laboratórios ..... 1,25 × 2,50 m

Portas gabinete e mini laboratórios ..... 0,85 × 2,60 m

Portas casas de banhos..... 0,85 × 2,10 m

Portas de incêndios..... 1,20 × 2,80 m

Porta arrumos..... 1,85 × 2,10 m

Portões dos laboratórios ..... 3,00 × 4,00 m

**4.2. Criação do modelo**

Neste subcapítulo será descrito todo o processo realizado nos softwares, desde a modelação arquitetónica do edifício até a obtenção das cargas térmicas do mesmo. Para realizar o estudo pretendido foi preciso recorrer ao AutoCAD e a dois softwares existentes na Store do BIMserver.Center:

- IFC Builder
- CYPETHERM LOADS.

**AutoCAD**

Inicialmente a planta do edifício foi disponibilizada no formato dwg<sup>10</sup>, pelo que o primeiro contacto mais detalhado com o modelo arquitetónico do edifício deu-se pelo AutoCAD e apenas posteriormente se recorreu ao IFC Builder.

<sup>10</sup> dwg é a extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do software AutoCAD.

Na Figura 32 exemplifica-se o aspeto do ficheiro dwg fornecido inicialmente, podendo ver-se que as plantas do piso 0, do piso 1 e da cobertura do Bloco C estavam todas juntas.

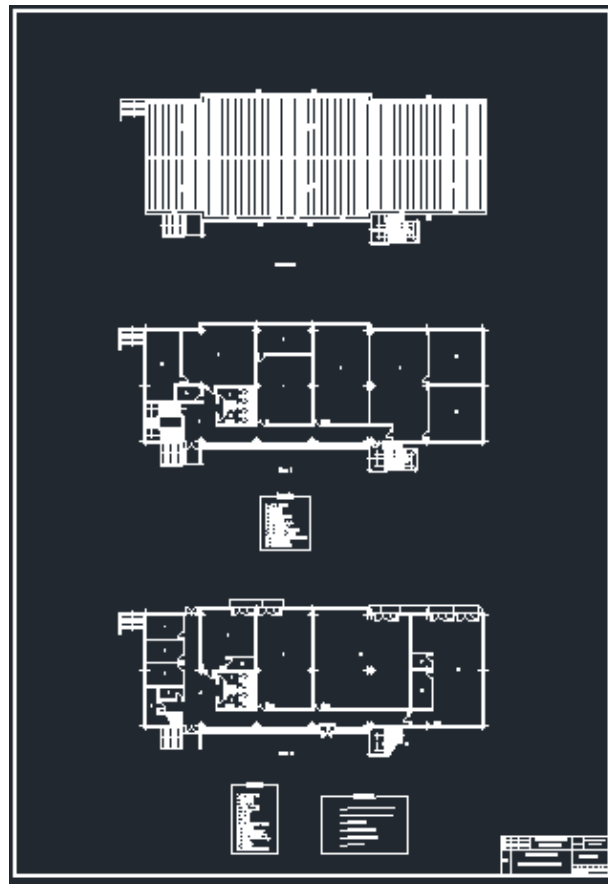


Figura 32: Imagem exemplificativa do ficheiro dwg inicialmente fornecido, contendo todas as plantas disponíveis para o Bloco C.

### **IFC Builder**

Para a criação do modelo arquitetónico do edifício inicialmente foi preciso inserir o ficheiro dwg no IFC Builder, onde primeiramente será preciso criar uma Nova Obra, como se mostra na Figura 33.

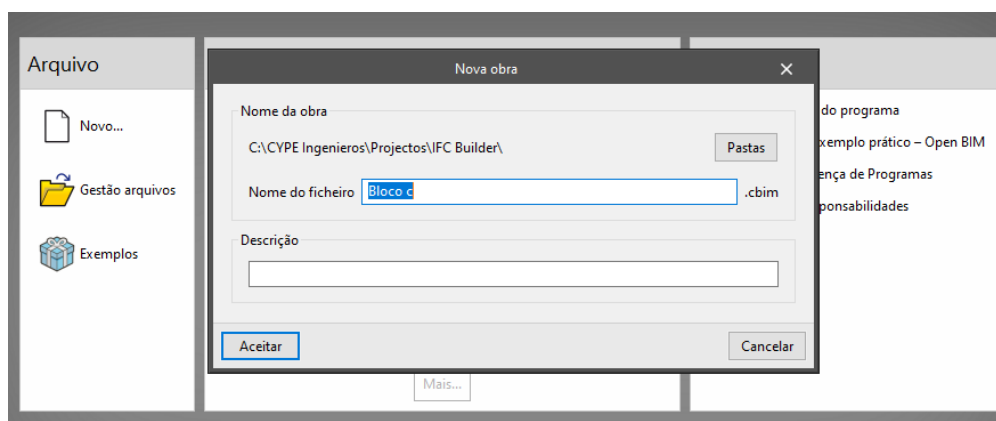


Figura 33: Menu “Nova obra” no IFC Builder.

Após a criação da nova obra e de depois de se já ter atribuído o nome que se pretende dar ao projeto, foi introduzido o pé-direito de cada um dos pisos, respetivamente 5 metros para o piso 0 e 3,5 metros para o piso 1 (Figura 34).

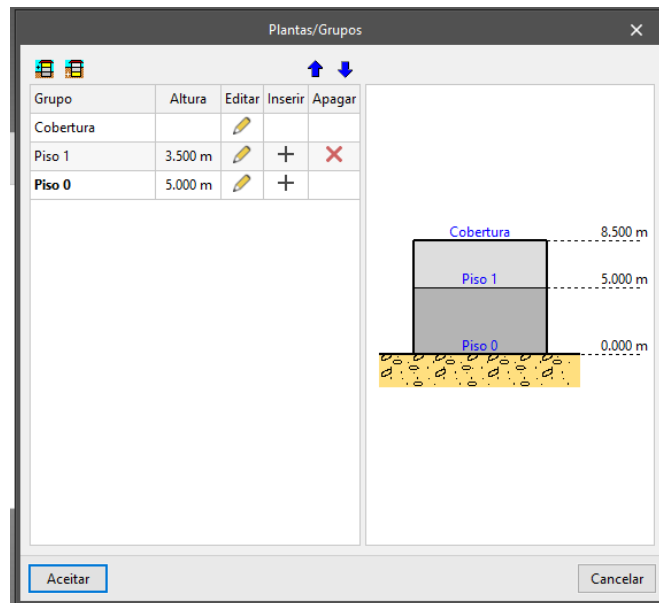


Figura 34: Definição do pé-direito dos pisos no IFC Builder.

O passo seguinte consistiu na seleção da área visível para cada uma das máscaras, isto é, a separação dos pisos e a definição dos pontos de coordenadas (0, 0, 0) que sejam comuns às três plantas, tal como se exemplifica na Figura 35.

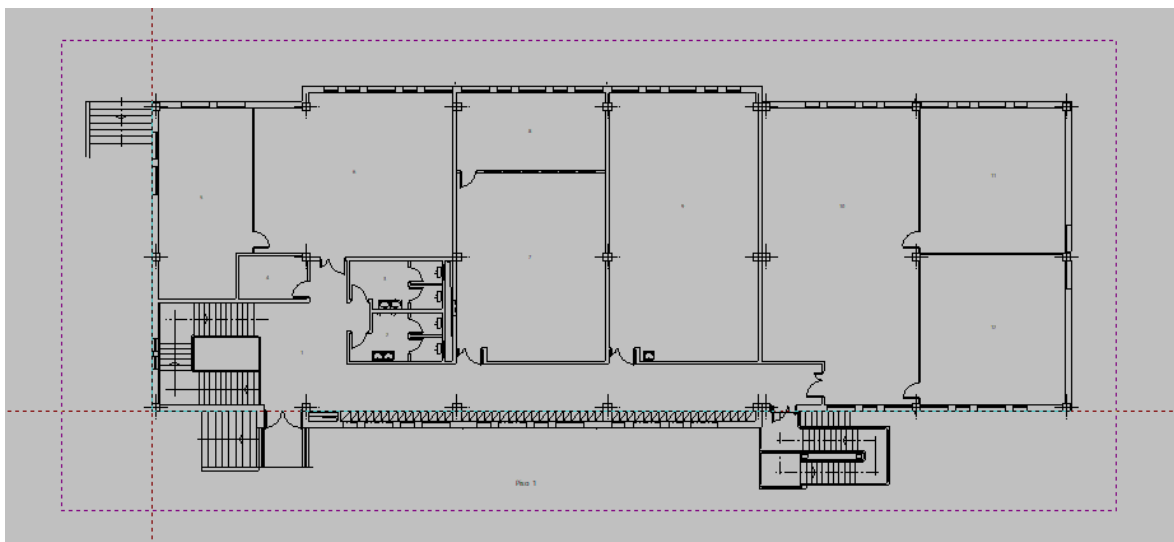


Figura 35: Seleção da área visível de uma planta e do ponto (0, 0, 0) para a origem comum a todas as plantas no IFC Builder.

Neste processo é importante ter-se em atenção a existência de um ponto de coordenada  $x = 0, y = 0, z = 0$  que seja comum a todos os pisos e que os pisos fiquem realmente separados e atribuído a um grupo.

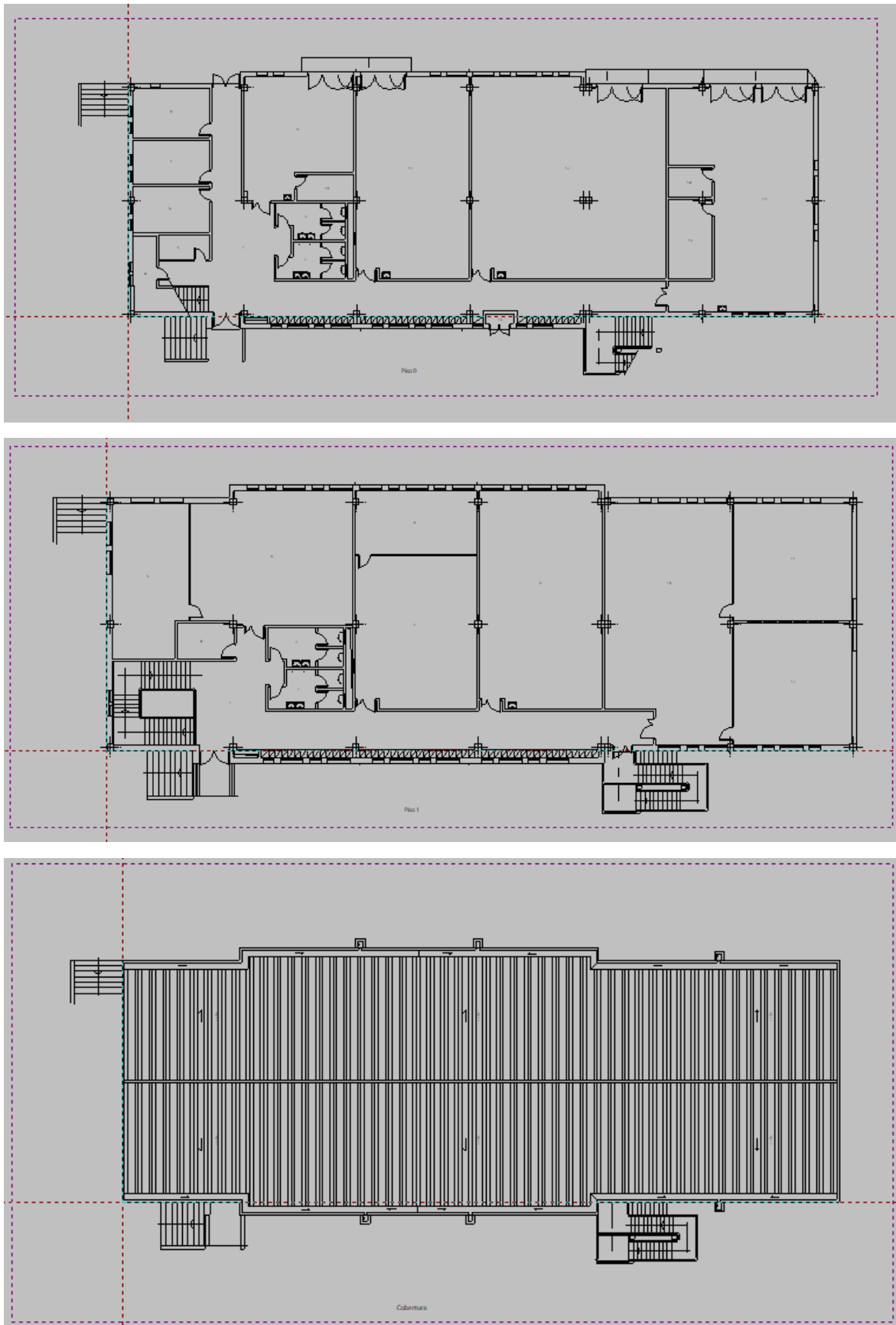


Figura 36: Seleção da área visível para cada um dos pisos e do ponto (0, 0, 0) para a origem comum a todas as plantas no IFC Builder.

É igualmente relevante neste processo ter-se em atenção a definição da orientação do edifício, que neste caso foi definido como sendo longitudinalmente orientado a Norte (Figura 37).

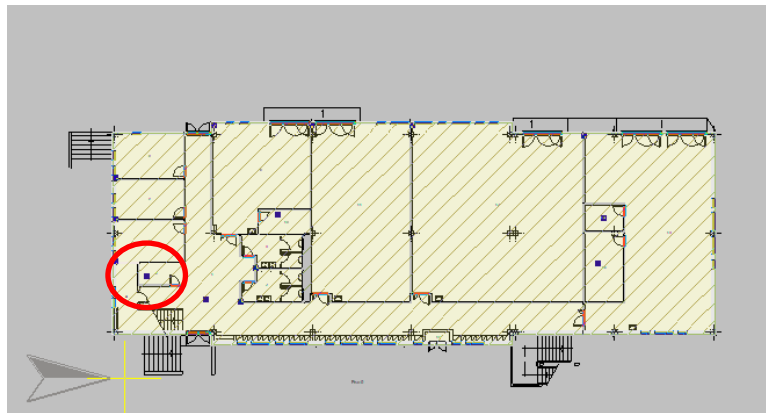


Figura 37: Definição da orientação do edifício.

Em seguida, foi necessário proceder à criação e ao desenho de todas as paredes que constituem o edifício, nomeadamente as paredes exteriores e as paredes interiores, bem como as espessuras correspondentes (Figura 38).

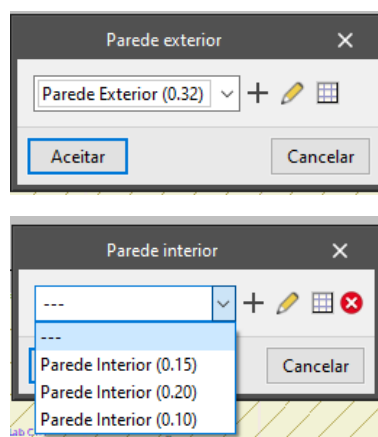


Figura 38: Paredes Interiores e Exteriores.

Posteriormente foi necessário definir e desenhar as lajes, nomeadamente a Laje Térrea e a Laje de Entrepiso (Figura 39).

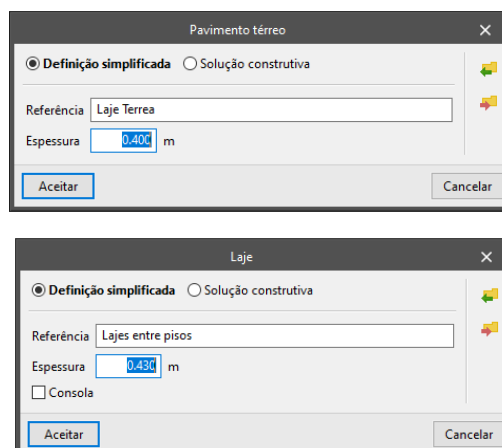


Figura 39: Criação das Lajes Térreas e Entre Pisos.

Logo após procedeu-se à criação da abertura na laje correspondente à escadaria (Figura 40).

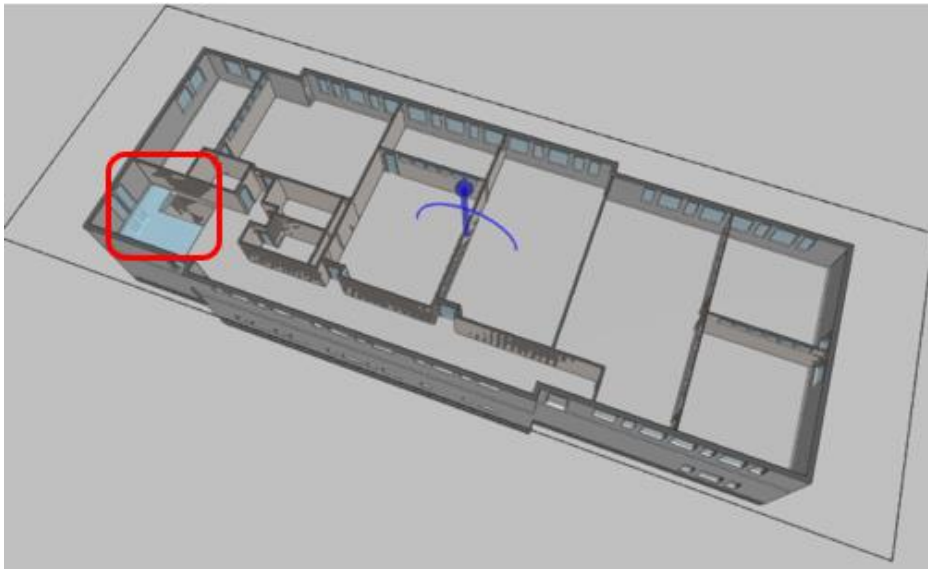


Figura 40: Abertura na laje na zona da escadaria.

De seguida procedeu-se à criação e ao desenho da cobertura do edifício (Figura 41).

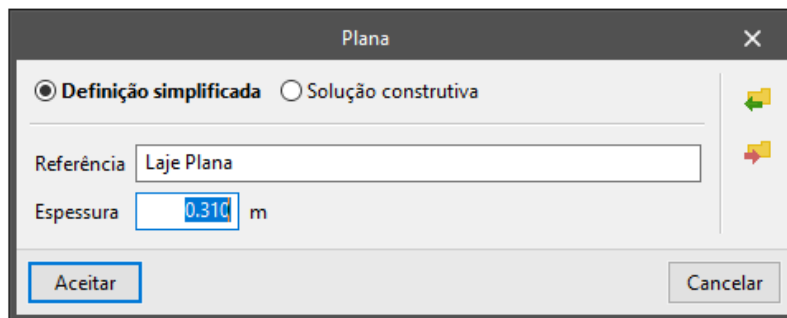


Figura 41: Criação da cobertura.

Seguidamente procedeu-se à criação e à implementação das aberturas do edifício, nomeadamente as portas (exteriores e interiores) e portões (Figura 42).

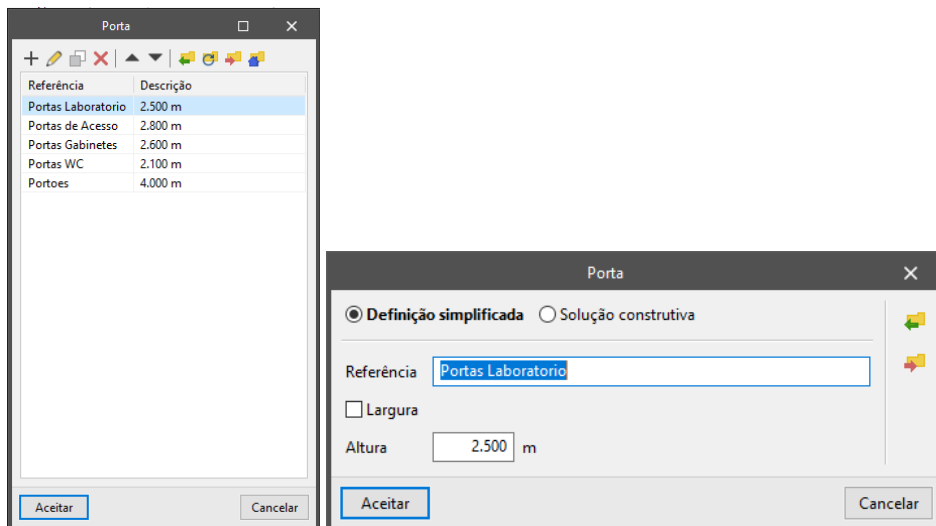


Figura 42: Criação das aberturas-Portas.

No caso dos vãos envidraçados, para além das dimensões altura e largura, foi também necessário definir a altura ao solo dos respectivos parapeitos (Figura 43).

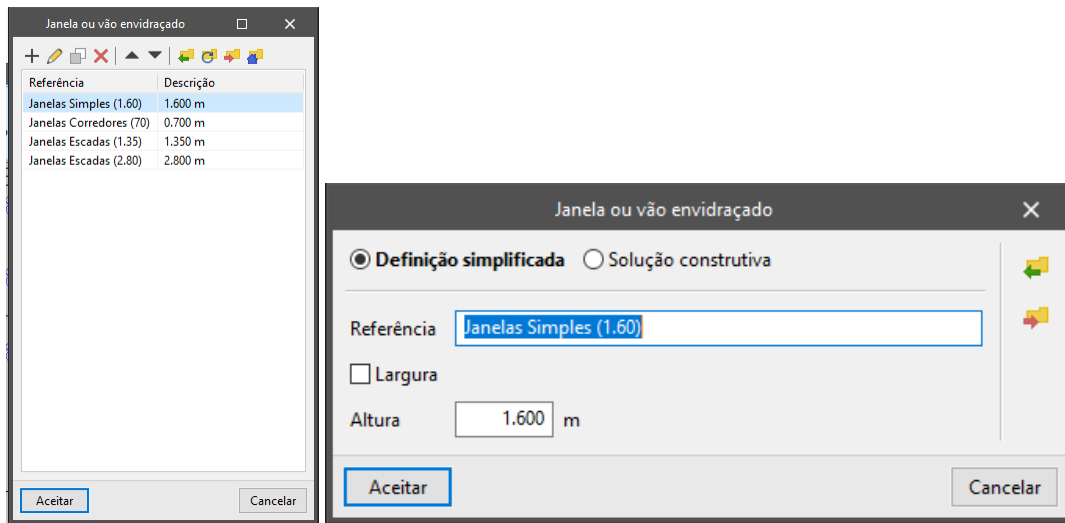


Figura 43: Criação dos vãos envidraçados.

Por fim foram criados os compartimentos (Figura 44) existentes em cada piso, passo essencial para a futura análise das cargas térmicas no CYPETHERM LOADS.

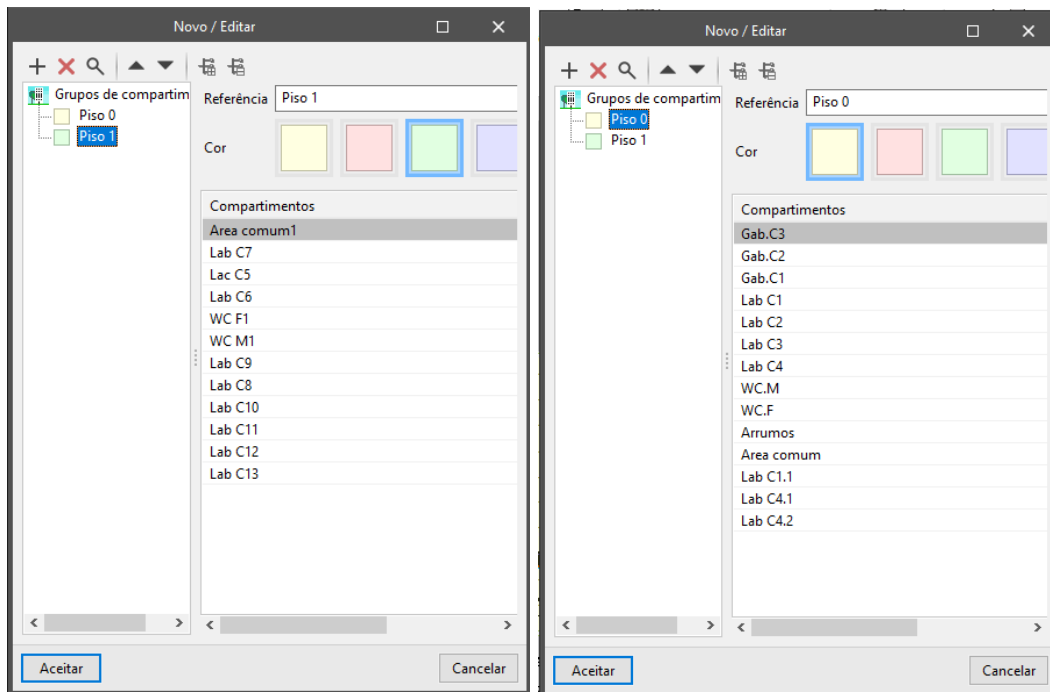


Figura 44: Definição dos compartimentos.

Na Figura 45, Figura 46 e Figura 47 podem-se ver as plantas de cada piso do edifício, incluindo a cobertura, depois de serem definidos todos os aspetos da arquitetura.

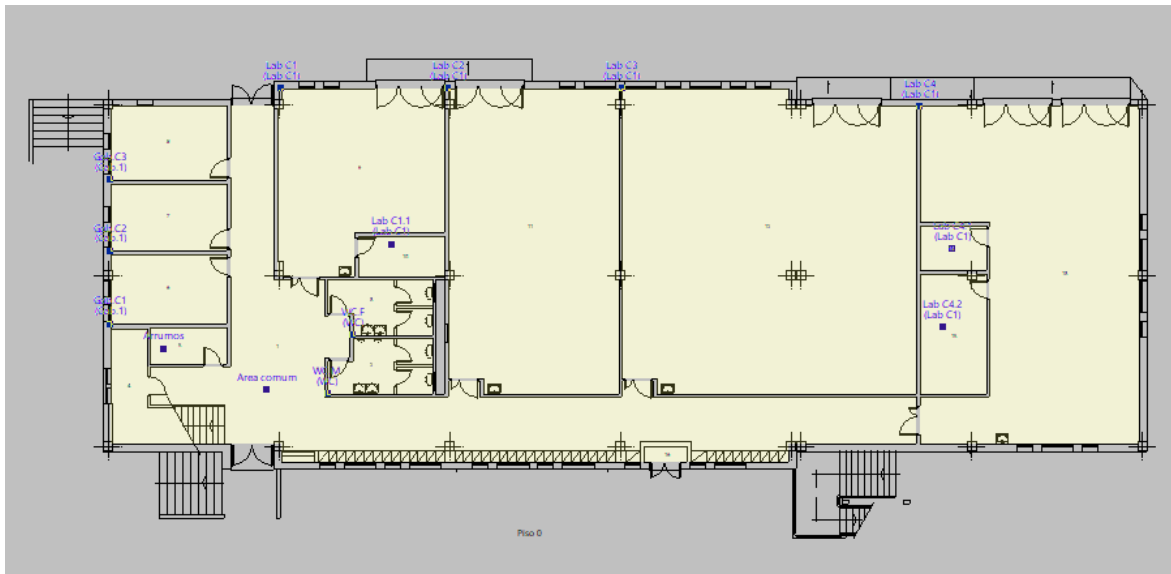


Figura 45: Planta do Piso 0.

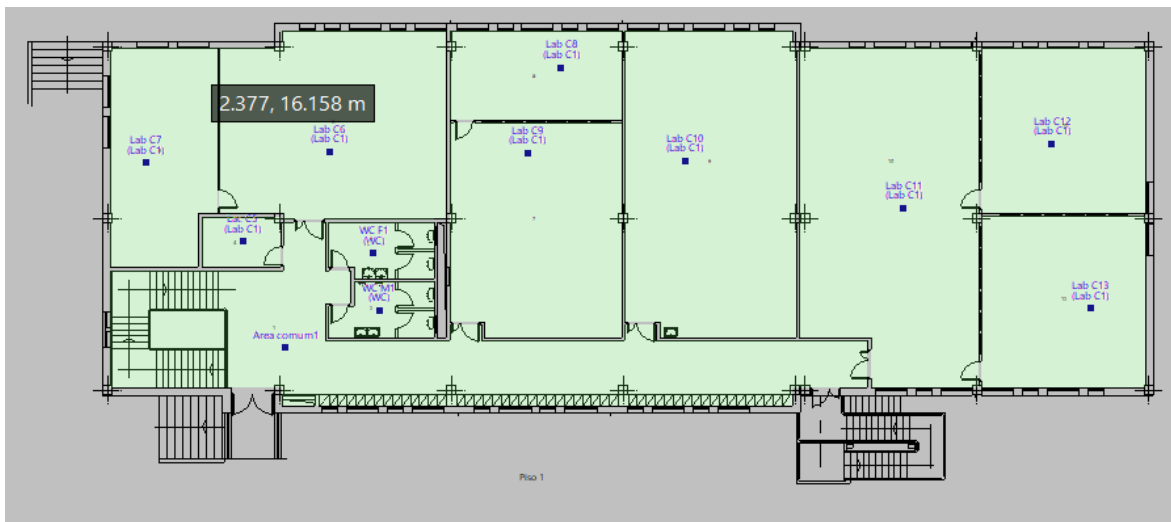


Figura 46: Planta do Piso 1.

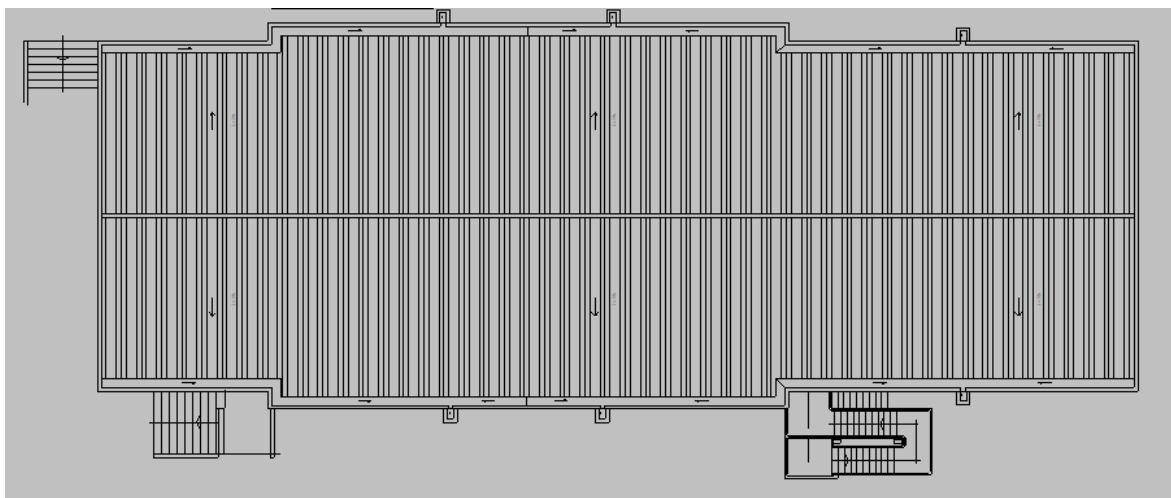


Figura 47: Planta da Cobertura.

No IFC Builder também é possível ver o edifício em perspectiva 3D, como se pode ver na Figura 48 e na Figura 49.

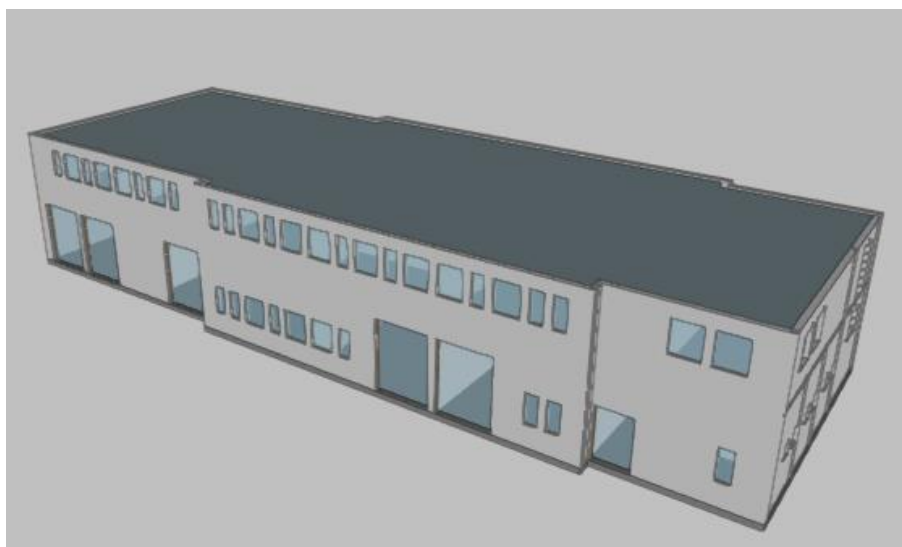


Figura 48: Visualização 3D do Bloco C no IFC Builder.

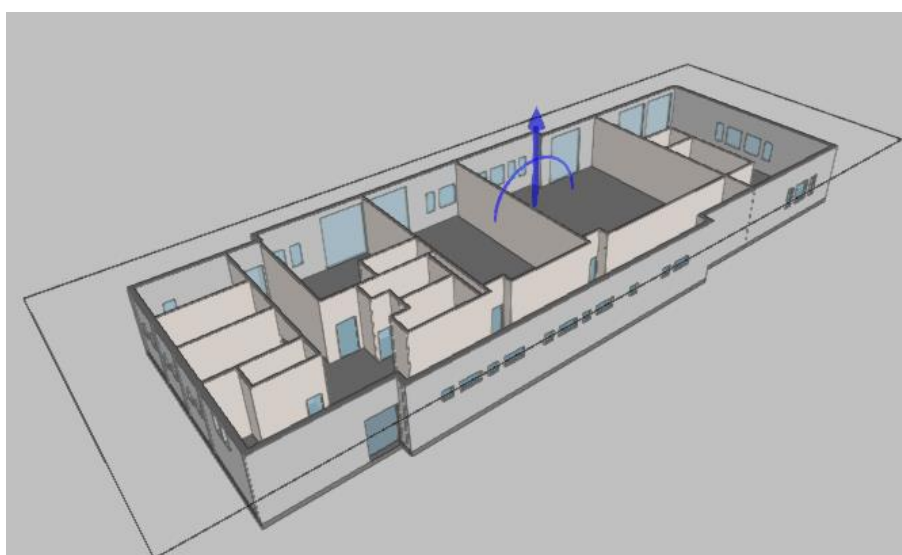


Figura 49: Visualização 3D do piso 0 do Bloco C no IFC Builder.

Antes de finalizar a utilização do IFC Builder, foi preciso atualizar e partilhar o projeto “Bloco C Novo” que já se encontrava criado no BIMserver.center, Figura 50.

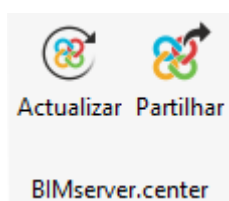


Figura 50: Atualizar e Partilhar no IFC Builder.

### **CYPETHERM LOADS**

Após os processos referidos acima passou-se para o CYPETHERM LOADS, onde primeiramente foi necessário importar o projeto criado no IFC BUILDER que já se encontrava na plataforma do BIMserver.center, como se ilustra a Figura 51.

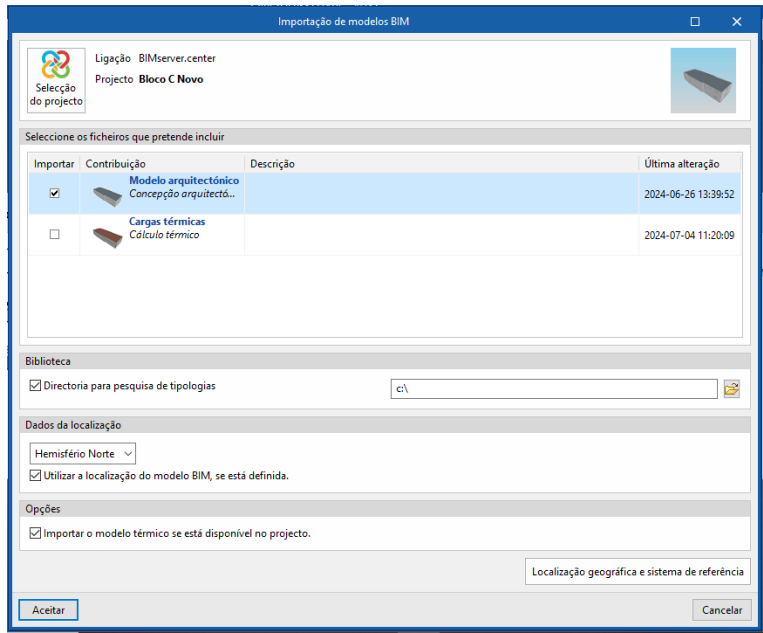


Figura 51: Seleção do projeto no CYPETHERM LOADS.

Para que se possa efetuar o cálculo das cargas térmicas para os compartimentos ou para os grupos de compartimentos definidos no software do modelo arquitetónico, primeiramente foi preciso efetuar uma visita ao edifício em estudo, o Bloco C, com o objetivo de obter informações detalhadas de cada compartimento que não eram possíveis de serem obtidas através da análise das plantas disponibilizadas.

Com esta visita foi possível obter dados como:

- O tipo de lâmpada e as potências elétricas de cada uma;
- Os equipamentos elétricos e as suas respectivas potências;
- A ocupação (estimada através do número de lugares sentados).

Com os dados necessários para que o software calcule os ganhos internos dos compartimentos seguiu-se a introdução dos dados para cada compartimento e a alteração de alguns parâmetros já definidos pelo software referentes a portas, paredes e janelas.

Segue-se abaixo o exemplo dos dados inseridos para um compartimento habitável.

Gabinete C1

Classificação do compartimento .....	Habitável
Condições de cálculo .....	Climatizado
Temperatura interior de dimensionamento em arrefecimento .....	25°C
Humidade relativa de dimensionamento em arrefecimento .....	50%
Temperatura interior de dimensionamento em aquecimento .....	21°C
Humidade Relativa de dimensionamento em aquecimento .....	30%
Ventilação .....	9 l/s

Infiltração .....	Nula
<b>Ocupação</b>	
Ocupação.....	2 pessoas
Ganho de calor sensível.....	70 W/pessoa
Fração radiante .....	0,60
Ganho de calor latente .....	45 W/ pessoa
<b>Equipamento interno</b>	
Ganho de calor sensível.....	800W
Fração radiante .....	0,20
Ganho de calor latente .....	0 W
<b>Iluminação</b>	
Ganho de calor sensível.....	144W
Fração radiante .....	0,58
Fração ao compartimento .....	0,69

Após a inserção dos dados é necessário efetuar o Processamento de Arestas visto que determinadas informações técnicas só podem ser introduzidas em programas específicos e a análise das pontes térmicas é uma delas.

O CYPETHERM LOADS primeiramente deteta as arestas e em seguida efetua o processamento de arestas através da análise em função das especificações da norma selecionada para o respetivo cálculo. Para este projeto a norma selecionada foi ISO 14683 (Figura 52).

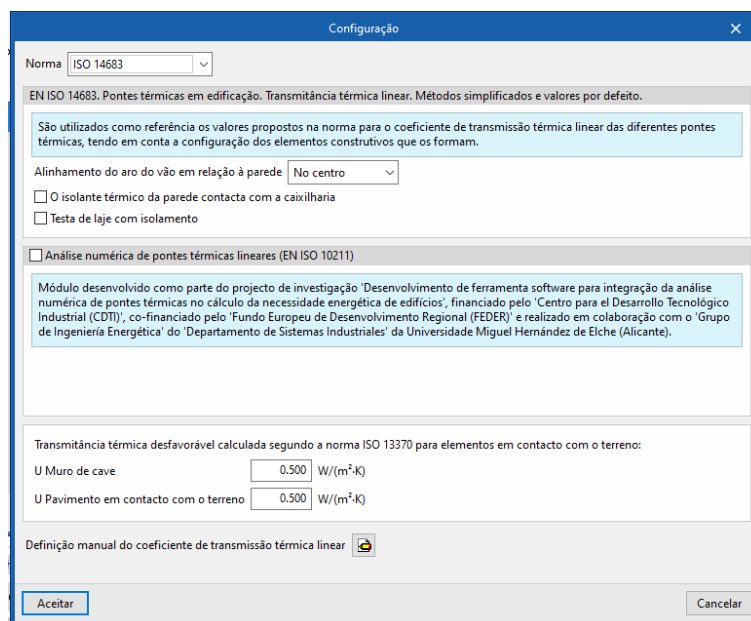


Figura 52: Processamento de arestas no CYPETHERM LOADS.

Antes de gerar os resultados foi preciso selecionar os dados meteorológicos e geográficos do edifício, Figura 54, que no caso do CYPETHERM LOADS é recolhida na base de dados da ASHRAE Weather Data Viewer, Figura 53 , onde se seleciona a região, o país e a cidade.

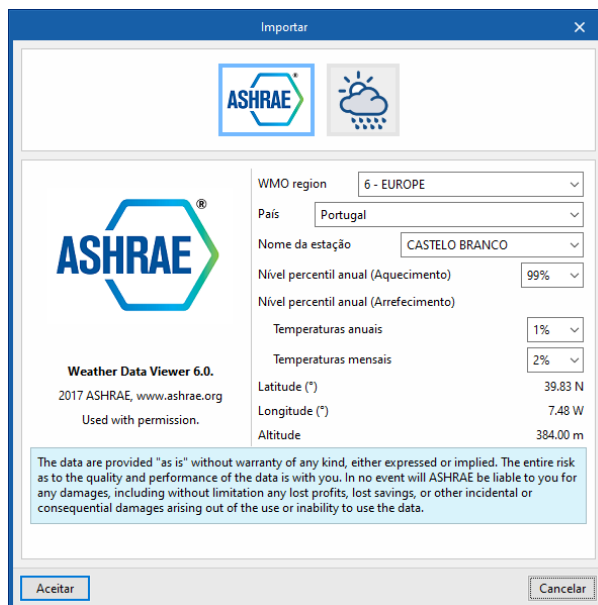


Figura 53: ASHRAE Weather Data Viewer.

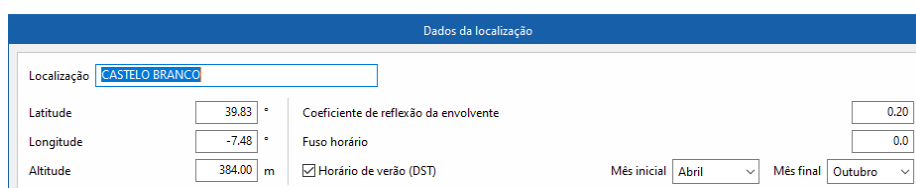


Figura 54 : Dados geográficos e meteorológicos de Castelo Branco.

Por fim foram criadas hipóteses e, dentro delas, foram selecionadas zonas para a qual que deseja realizar o cálculo das cargas térmicas.

O cálculo das cargas térmicas baseia-se no Método de Séries Temporais Radiativas (RTS), isto é, apresenta uma análise detalhada das cargas térmicas do edifício tendo em consideração as variações horárias das condições climáticas e a dinâmica térmica do edifício. Isto significa que é considerada a variação temporal da radiação solar bem como de outros fatores climáticos ao longo do dia.

Para o caso das cargas térmicas de aquecimento o CYPETHERM LOADS não considera os ganhos provenientes de radiação solar e nem os referentes ao calor interno. O software restringe-se unicamente a determinar as cargas térmicas geradas pelas envolventes do compartimento e pela ventilação – que neste caso foi considerada como sendo de 9 l/s para todos os compartimentos – e infiltração em um dado momento (Figura 55).

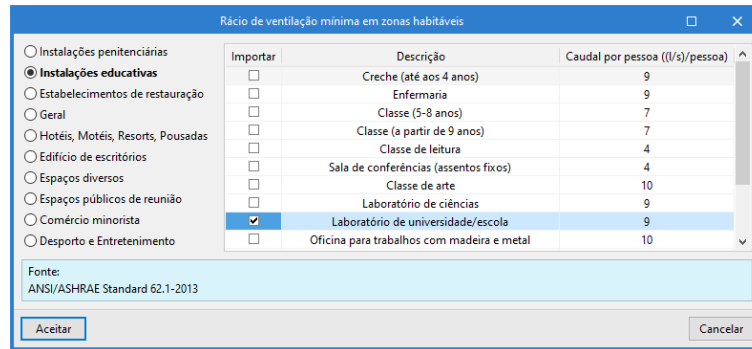


Figura 55: Caudal de ventilação mínimo em zonas habitáveis.

### 4.3. Características psicométricas exteriores

A temperatura é um fator fundamental para se ter em consideração no cálculo das cargas, sendo que as temperaturas externas são dos fatores mais significativos visto que em situações de altas temperaturas exteriores aumentam a carga térmica de arrefecimento, enquanto em situações de temperaturas exteriores mais baixas aumentam a carga térmica de aquecimento, conseqüentemente as variações sazonais e diárias devem ser consideradas nos cálculos.

A humidade relativa pode afetar a sensação térmica e, por conseguinte, a carga térmica. Condições de humidade relativa alta pode aumentar a sensação de calor, requerendo maior esforço de arrefecimento.

A Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam as condições de dimensionamento consideradas pelo CYPETHERM LOADS para o cálculo das cargas térmicas.

Tabela 11: Condições de dimensionamento para a estação de aquecimento.

Temperatura seca	Humidade relativa	Temperatura do terreno
2.2 °C	80.0%	9.3 °C

Tabela 12: Condições de dimensionamento para a estação de arrefecimento.

Cálculo de cargas de arrefecimento por mês	Temperatura seca de dimensionamento (°C)	Temperatura húmida coincidente (°C)	Oscilação diária de temperatura seca (°C)	Oscilação diária da temperatura húmida (°C)
Janeiro	15,0	11,2	7,1	5,6
Fevereiro	18,0	11,6	8,5	6,2
Março	22,1	12,5	9,3	6,2
Abril	25,3	15,2	9,8	6,0
Mai	29,6	17,6	11,0	5,9
Junho	34,5	18,7	12,9	5,7
Julho	36,3	19,3	14,1	5,3
Agosto	36,5	19,2	14,0	5,1
Setembro	32,8	17,9	11,5	5,2
Outubro	26,6	16,1	8,9	5,0
Novembro	18,9	13,8	7,3	5,1
Dezembro	15,0	12,4	6,7	5,5

#### 4.4. Características psicométricas interiores

As envolventes de um edifício são cruciais quando se fala das trocas de calor entre o mesmo e o exterior. Sendo assim a orientação das janelas, o tipo de vidro, o isolamento e todos os outras materiais e constituintes do edifício influencia diretamente a carga térmica.

Na Figura 56, na Figura 57 e na Figura 58 são apresentadas as diferentes envolventes consideradas para o cálculo das cargas térmicas no CYPETHERM LOADS.

	Referência	Tipo	
1	Laje Terrea	Laje térrea	
2	Parede Interior (0.15)	Parede interior	
3	Parede Exterior (0.32)	Fachada	
4	Parede Interior (0.20)	Parede interior	
5	Lajes entre pisos	Laje entre pisos	
6	Laje Plana	Cobertura	
7	Parede Interior (0.10)	Parede interior	
8	Parede Interior WC (0.15)	Parede interior	

Figura 56: Elementos da envolvente exterior e interior.

	Referência
1	Portoes (305-310)
2	Portas Laboratorio (125-130)
3	Portas Laboratorio (130-135)
4	Portas Gabinetes (85-90)
5	Portas WC (85-90)
6	Portas de Acesso (185-190)
7	Portas de Acesso (190-195)
8	Portas Gabinetes (125-130)

Figura 57: Portas e portões.

	Referência
1	Janelas Simples Fixas(1.60) (70-75)
2	Janelas Simples (1.60) (140-145)
3	Janelas Corredores (70) (70-75)
4	Janelas Escadas (1.35) (70-75)
5	Janelas Corredores (70) (140-145)
6	Janelas Escadas (2.80) (70-75)
7	Janelas Simples (1.60) (70-75)

Figura 58: Vãos envidraçados.

A laje térrea (Figura 60) que está em contacto com o terreno tem as suas propriedades apresentadas na Figura 59.

Camadas
1 - Cerâmica vidrada/grês cerâmico: 1 cm
2 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
3 - Betão normal: 40 cm
Espessura total: 43.0 cm
Caracterização térmica
Resistência térmica: 0.27 m <sup>2</sup> ·K/W

Figura 59: Características da laje térrea.

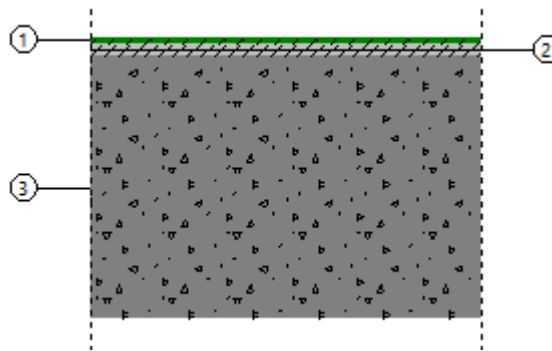


Figura 60: Materiais constituintes da laje térrea.

A laje de entrepiso (Figura 61) que separa o piso 1 do piso 0 tem as suas características descritas na Figura 62.

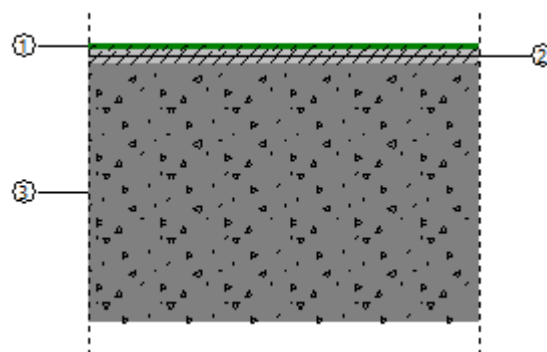


Figura 61: Materiais constituintes da laje de entrepisos.

Camadas
1 - Cerâmica vidrada/grês cerâmico: 1 cm
2 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
3 - Betão normal: 40 cm
Espessura total: 43.0 cm
Caracterização térmica
Laje superior
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 1.65 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): 2.15 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Laje inferior
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 2.15 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): 1.65 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Laje inferior exposta à intempérie
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 2.47 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): 2.10 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 145264.37 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 62: Características da laje de entrepisos.

As características da cobertura do edifício (Figura 63) são apresentadas na Figura 64.

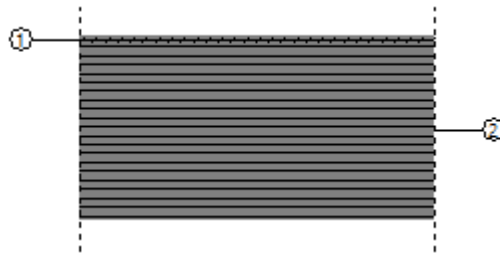


Figura 63: Materiais constituintes da cobertura.

Camadas
1 - Placa de fibrocimento com fibras de amianto: 1 cm
2 - P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxodescendente (30 cm): 30 cm
Espessura total: 31.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 1.90 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): 2.20 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 125232.58 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 64: Características da cobertura.

A parede exterior (Figura 65), – considerada uma parede exposta visto que não existe nenhum outro edifício adjacente – tem as suas propriedades apresentadas na Figura 66.



Figura 65: Composição das paredes exteriores.

Camadas
1 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
2 - Tijolo cerâmico furado (11 cm): 11 cm
3 - Caixa de ar: 6 cm
4 - Tijolo cerâmico furado (11 cm): 11 cm
5 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
Espessura total: 32.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (U): 1.09 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 65668.74 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 66: Características das paredes exteriores.

As paredes interiores (Figura 67) que fazem a divisão entre os diferentes compartimentos têm as suas propriedades apresentadas na Figura 68.

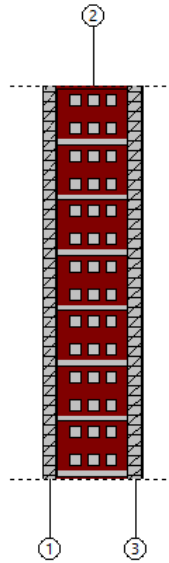


Figura 67: Composição das paredes interiores.

Camadas
1 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
2 - Tijolo cerâmico furado (11 cm): 11 cm
3 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
Espessura total: 15.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (U): 1.78 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 62612.58 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 68: Características das paredes interiores.

As paredes interiores de 10 cm (Figura 69), que são paredes de pladur usadas para fazer a separação de determinados laboratórios do piso 1, tem as suas características descritas na Figura 70.

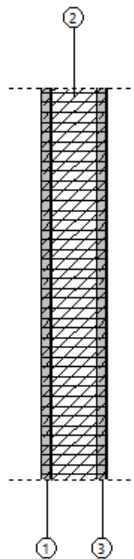


Figura 69: Esquema das paredes interiores de 10 cm.

Camadas
1 - Argamassa e reboco tradicional: 1.5 cm
2 - Placa de gesso cartonado: 7 cm
3 - Argamassa e reboco tradicional: 1.5 cm
Espessura total: 10.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (U): 1.78 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 52751.17 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 70: Características das paredes interiores de 10 cm.

As paredes dos WC's (Figura 71) – paredes das instalações sanitárias masculinas e femininas – têm as suas características descritas na Figura 72.

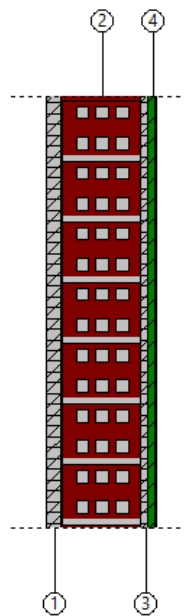


Figura 71: Composição das paredes das instalações sanitárias.

Camadas
1 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
2 - Tijolo cerâmico furado (11 cm): 11 cm
3 - Argamassa e reboco tradicional: 1 cm
4 - Cerâmica vidrada/grés cerâmico: 1 cm
Espessura total: 15.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (U): 1.78 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Capacidade térmica: 63817.94 J/m <sup>2</sup> ·K

Figura 72: Características das paredes das instalações sanitárias.

No CYPETHERM LOADS para as portas considerou-se:

Coefficiente de transmissão térmica ..... 2,00 W/(m<sup>2</sup>·K)

Coefficiente de absorção ..... 0,60

Para as janelas, que têm caixilharia de alumínio e vidro duplo, escolheu-se a definição simplificada e considerou-se um coeficiente de transmissão térmica de 3,30 W/(m<sup>2</sup>·K).

#### 4.5. Ganhos Internos

As fontes internas de calor, tais como os ocupantes e as atividades que realizam e os equipamentos elétricos também contribuem para a carga térmica, por isso, elas devem ser consideradas para o cálculo das cargas térmicas principalmente em espaços fechados ou com grande ocupação.

A Tabela 13 e a Tabela 14 mostram as fontes de ganhos internos de cada compartimento para cada um dos pisos do edifício em estudo.

Tabela 13: Ganhos internos do Piso 0

Compartimento	Ocupação (nº de ocupantes)	Iluminação		Equipamentos (W)
		36 W	250 W	
Gab. C1	2	4	-	800
Gab. C2	2	4	-	800
Gab. C3	2	4	-	800
Lab. C1	21	1	3	288
Lab. C1.1	1	2	-	360
Lab. C2	23	7	6	4 000
Lab. C3	20	7	9	4 192
Lab. C4	20	1	6	11 771
Lab. C4.1	1	2	-	-
Lab. C4.2	1	1	-	-

Tabela 14: Ganhos internos do Piso 1

Compartimentos	Ocupação (nº de ocupantes)	Iluminação (36 W)	Equipamentos (W)
Lab. C5	1	2	400
Lab. C6	21	20	5 000
Lab. C7	25	14	4700
Lab. C8	16	4	-
Lab. C9	32	20	5 000
Lab. C10	19	24	7900
Lab. C11	30	22	6 700
Lab. C12	27	14	5 900
Lab. C13	21	14	6 700

Para o cálculo das cargas térmicas no CYPETHERM LOADS não foram consideradas as instalações sanitárias, os arrumos e as zonas de circulação, sendo consideradas como não habitáveis.

Para as instalações sanitárias (Figura 73) considerou-se o cálculo do fator de redução e para o nível de estanquidade considerou-se como tendo pequenas aberturas de ventilação.

Os arrumos (Figura 74) e as zonas de circulação também foram consideradas como sendo não habitáveis e considerou-se igualmente o fator de redução das perdas como sendo calculado e para o nível de estanquidade considerou-se como tendo pequenas aberturas de ventilação.

The screenshot shows a software interface with two tabs: 'Tipologia' and 'Dados'. The 'Dados' tab is active. It contains the following fields and options:

- Referência: WC
- Classificação do compartimento: Não habitável
- Factor de redução das perdas 'b':
  - Calculado
  - Personalizado
- Nível de estanquidade:
  - Totalmente estanque
  - Sem aberturas de ventilação
  - Pequenas aberturas de ventilação
  - Aberturas de ventilação permanentes
  - Aberturas de ventilação grandes ou numerosas
  - Personalizado
- Summary text: Todas as uniões entre os componentes bem vedadas, sem aberturas de ventilação (0,5/h)

Figura 73: Classificação dos compartimentos caso das instalações sanitárias.

The screenshot shows a software interface with two tabs: 'Tipologia' and 'Dados'. The 'Dados' tab is active. It contains the following fields and options:

- Referência: Arrumos
- Classificação do compartimento: Não habitável
- Factor de redução das perdas 'b':
  - Calculado
  - Personalizado
- Nível de estanquidade:
  - Totalmente estanque
  - Sem aberturas de ventilação
  - Pequenas aberturas de ventilação
  - Aberturas de ventilação permanentes
  - Aberturas de ventilação grandes ou numerosas
  - Personalizado
- Summary text: Todas as uniões bem vedadas, pequenas aberturas de ventilação (1/h)

Figura 74: Classificação dos compartimentos caso dos arrumos.

Para os compartimentos habitáveis dentro das ocupações foram consideradas como sendo muito leve o estado representativo de atividades (Figura 75) para a definição do ganho de calor sensível e latente, como para a definição da fração radiante, com exceção

do Laboratório C4 que possui equipamentos que exigem um maior esforço físico por isso foi considerado como sendo trabalho leve com máquinas (Figura 76).

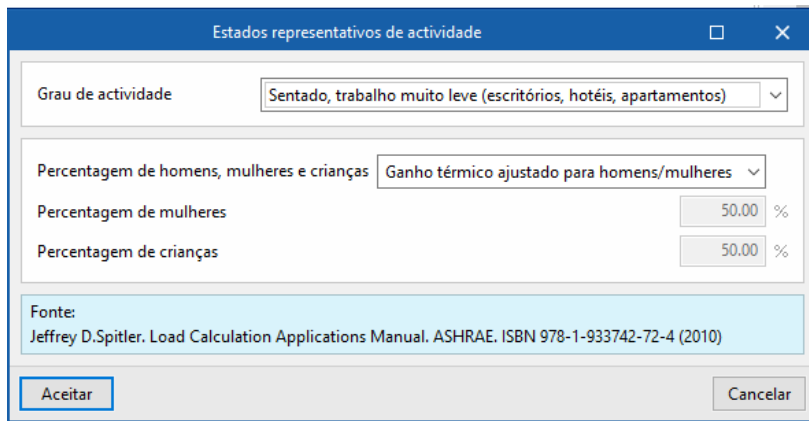


Figura 75: Estados representativos da atividade para os compartimentos.

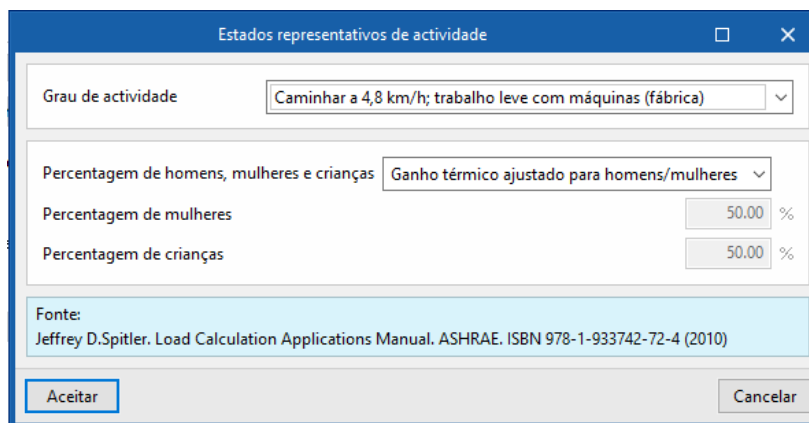


Figura 76: Estados representativos da atividade para o Lab.C4.

No caso dos equipamentos foram consideradas como sendo ligeiras as densidades das cargas térmicas destes (Figura 77).

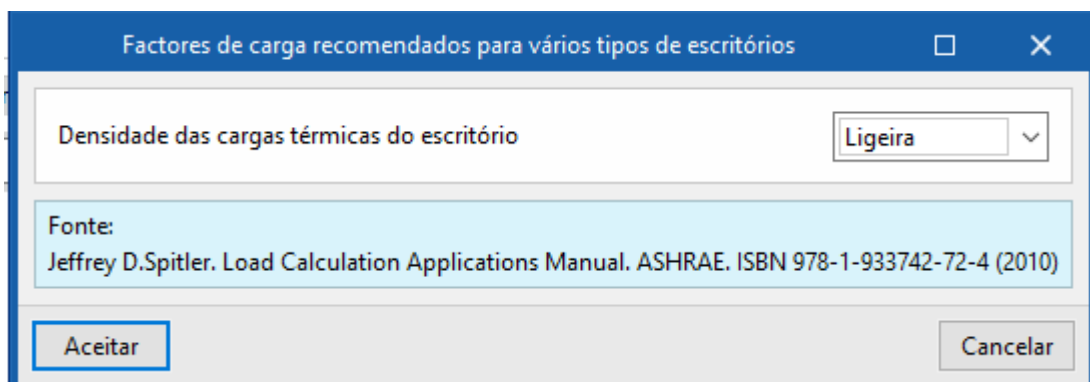


Figura 77: Configuração da densidade das cargas térmicas dos equipamentos.

No que diz respeito à iluminação, definiu-se as suas potências elétricas respetivas como sendo luminárias fluorescente encastradas sem vidro em escolas ou universidades (Figura 78).

O CYPETHERM LOADS para as categorias de luminária não tem como opção a inserção de lâmpadas de descarga de vapor de sódio que são lâmpadas que se encontram em maior quantidade nos laboratórios do piso 0.

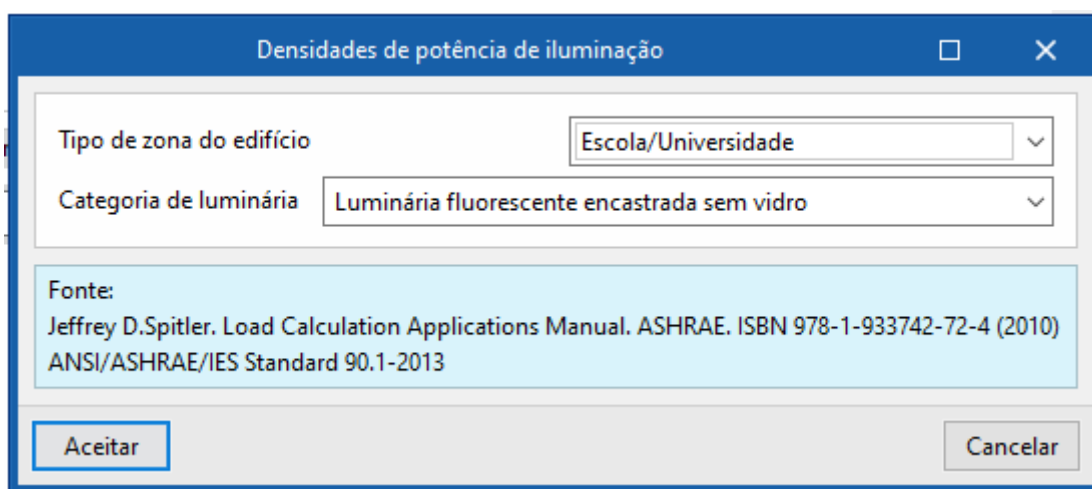


Figura 78: Configuração da densidade da potência de iluminação.

#### 4.6. Perfil de utilização

O perfil de utilização esboçado para o edifício tem uma influência significativa no cálculo das cargas térmicas do mesmo.

Para o perfil de utilização, foi considerado o perfil diário e para este foram criadas duas opções de perfis de utilização, como se pode observar na Figura 79.

O mês de agosto não foi levado em consideração no cálculo das cargas térmicas visto que neste mês a escola se encontra fechada para férias.

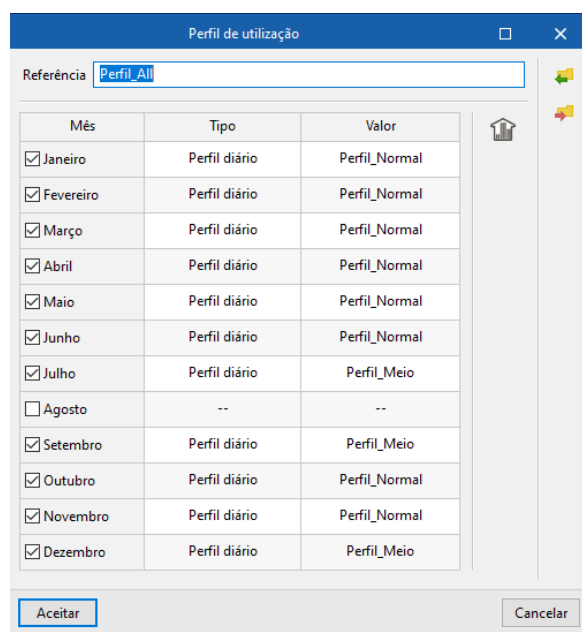


Figura 79: Configuração dos perfis de utilização mensais.

Dentro das duas opções de perfil criou-se o “Perfil\_Normal”, Figura 80, que foi associado à maioria dos meses. Este perfil apresenta uma menor afluência na primeira

hora de utilização do edifício (08h00 – 09h00), no horário do almoço (12h00 – 13h00) e ao final do dia (18h00 – 19h00). Em contrapartida, para a maior parte do dia considerou-se uma afluência de 100%.

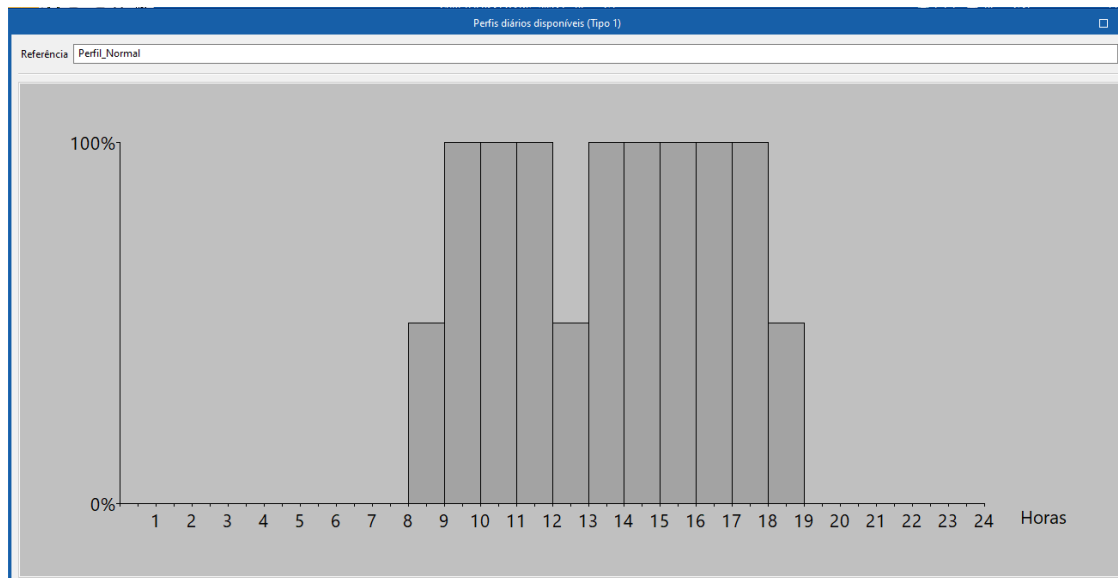


Figura 80: Configuração do “Perfil\_Normal”.

Para os meses em que o edifício apresenta menos afluência, como os meses de pausas letivas ou em que normalmente há épocas de exames, criou-se um perfil de utilização denominado de “Perfil\_Meio”, o qual apresenta bastante variação de utilização ao longo do dia. Há um perfil crescente ao longo da manhã que diminui no horário do almoço, voltando a aumentar no meio da tarde e diminuindo novamente depois das 16 horas.

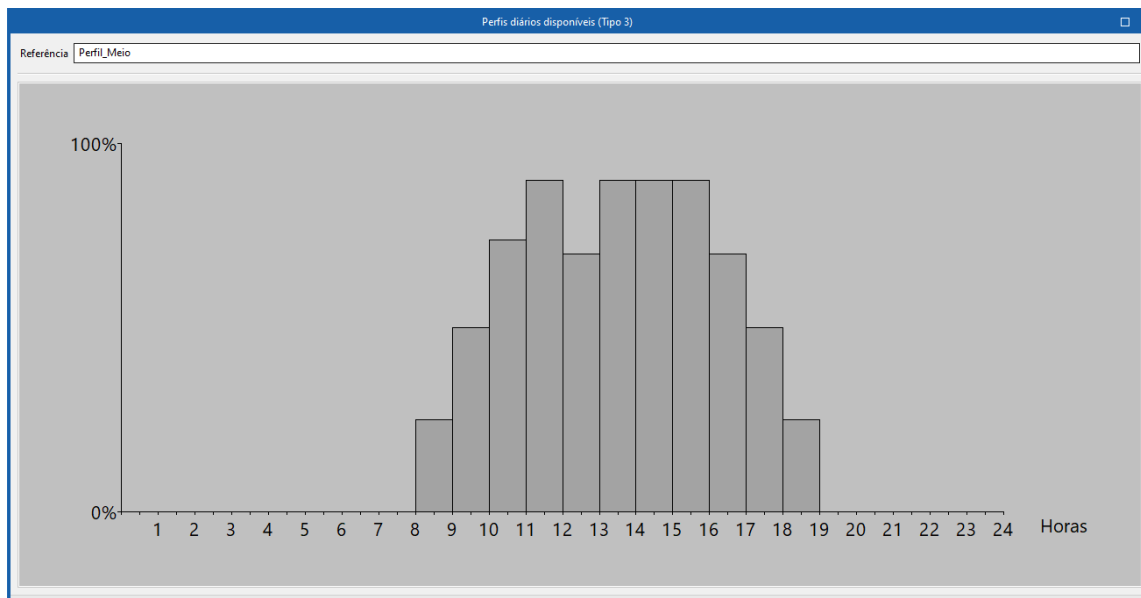


Figura 81: Configuração do “Perfil\_Meio”.

# Capítulo 5

## Simulações

## 5. Simulações

Neste capítulo serão descritas todas as ações realizadas no CYPETHERM LOADS de modo que o software utilizado possa efetuar as simulações requeridas e apresente os resultados necessários a uma correta análise ao edifício estudado.

Antes de mais convém referir que, antes de se realizarem as simulações, é preciso efetuar previamente uma recolha exaustiva de informações sobre diversos elementos, tais como:

- Arquitetura;
- Envolvente;
- Ocupação;
- Sistemas de climatização;
- Iluminação;
- Perfis de utilização.

Todas estas informações foram apresentadas e descritas em detalhe no Capítulo 3.

### 5.1. Simulações no CYPETHERM LOADS

Tal como referido anteriormente, o CYPETHERM LOADS apresenta duas opções de cálculo para o cálculo das cargas térmicas:

- O método da ASHRAE, em que é possível calcular as cargas térmicas de arrefecimento e de aquecimento;
- O método de cálculo da norma EN 12831, em que só é possível calcular as cargas de aquecimento.

O primeiro passo para o processamento de resultados é a criação de hipótese e a definição de zona para a hipótese criada.

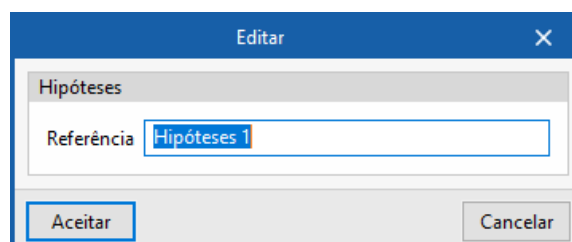


Figura 82: Criação de hipóteses.

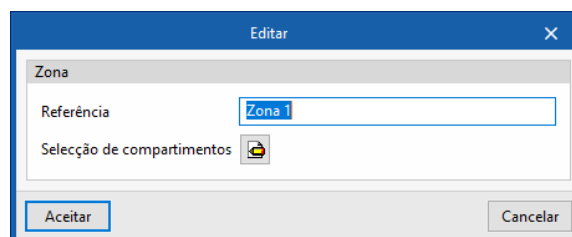


Figura 83: Criação de zonas.

De seguida será necessário fazer a seleção dos compartimentos que se pretende associar à zona criada.

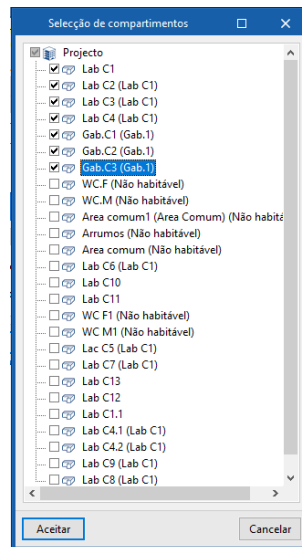


Figura 84: Seleção de compartimentos.

Após a definição do modelo de cálculo e da seleção das zonas do edifício onde se pretende obter o resultado da simulação já é possível gerar os resultados (Figura 85).

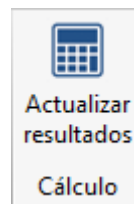


Figura 85: Aba cálculo.

## 5.2. Resultados das simulações

### Carga máxima de arrefecimento

Na Figura 86 e na Figura 88 são apresentadas as cargas térmicas de arrefecimento de compartimentos para cada um dos pisos.

No piso 0 as maiores cargas de arrefecimento correspondem ao Laboratório C4 (Figura 86). Tal deve-se:

- À grande quantidade de ganhos internos associados os equipamentos que fazem parte deste compartimento, uma vez que são equipamentos com grandes potências elétricas instaladas;
- À grande exposição solar visto que este laboratório possui vãos envidraçados tanto a nascente como a poente, fazendo com que esteja sujeito a ganhos externos por radiação solar durante todo o dia.

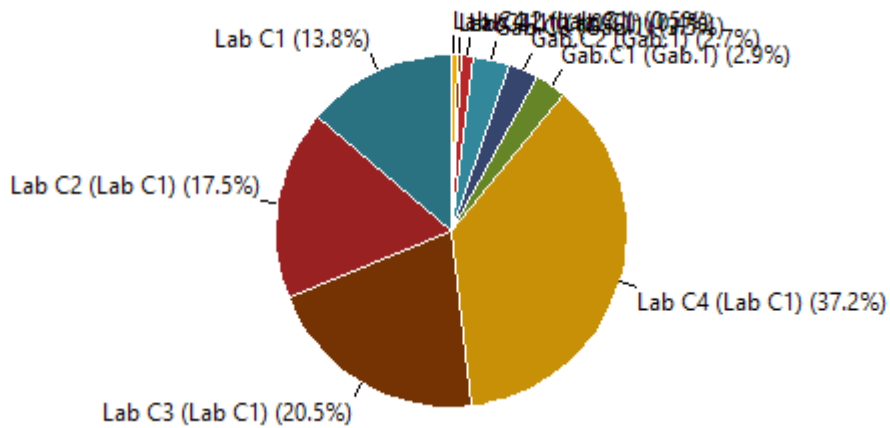


Figura 86: Cargas de arrefecimento do piso 0.

Para o Piso 0 as maiores cargas de arrefecimento são previstas para o dia 21 de junho às 18 horas. Tal como se pode observar na Figura 87, estas cargas aumentam significativamente nas primeiras horas de utilização do edifício e diminuem a meio do dia, no horário considerado para as pausas do almoço. Cerca das 18 horas atinge-se o valor máximo destas cargas, as quais diminuem ao longo da noite.

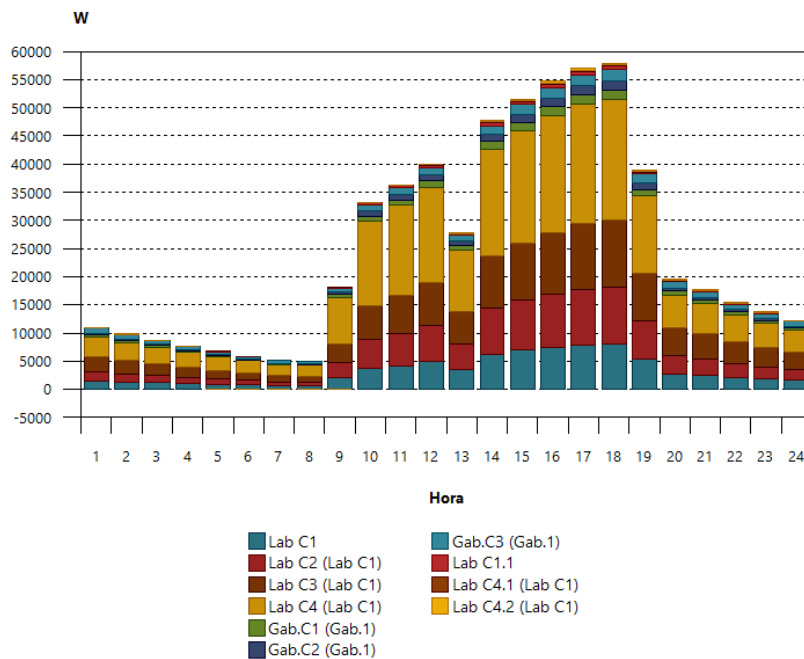


Figura 87: Evolução horaria para as cargas máximas simultâneas de arrefecimento para o dia 21 de junho - Piso 0.

Para o Piso 1 as maiores cargas estão associadas ao Laboratório C11, o que está associado a:

- Ganhos externos deste compartimento, visto que possui vãos envidraçados tanto a nascente quanto a poente;
- Maior capacidade em termos de ocupação;
- Existência de uma grande quantidade de equipamentos elétricos, o que para os casos mais extremos caracteriza-se em um grande ganho interno.

Em seguida está o Laboratório C10 que tem dos maiores ganhos internos, uma vez que tem maiores valores de ganhos associados a equipamentos e iluminação.

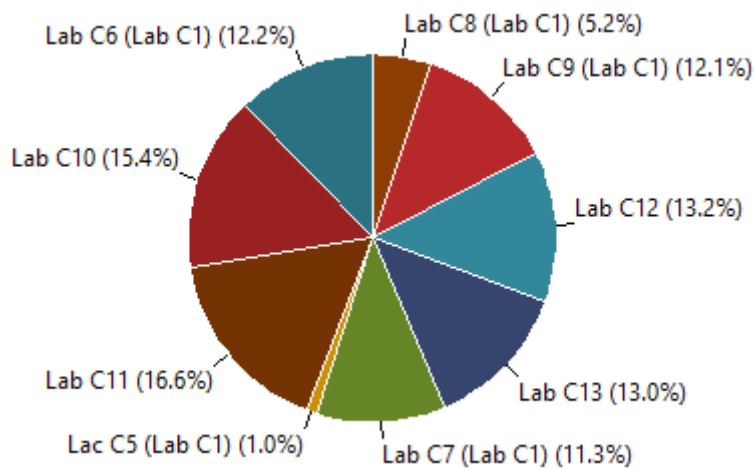


Figura 88: Cargas de arrefecimento do piso 1.

As maiores cargas de arrefecimento para o piso 1 são estimadas para o dia 21 de junho às 18 horas.

A Figura 89 mostra a evolução das cargas de arrefecimento para o piso 1, em que se pode ver que as cargas começam a aumentar após a primeira hora da abertura da escola (08h00 – 09h00), onde mais tarde se nota uma ligeira diminuição dessas cargas no horário do almoço (12h00 – 13h00) onde o edifício tem uma menor afluência e sucedendo de um aumento das cargas após este horário, atingindo um pico entre as 17h e as 18 h e diminuindo a partir daí até ao encerramento das instalações (18h00 – 19h00).

Também se pode observar que ao longo de todo o período de utilização do edifício o laboratório C10 apresenta a maior carga de arrefecimento.

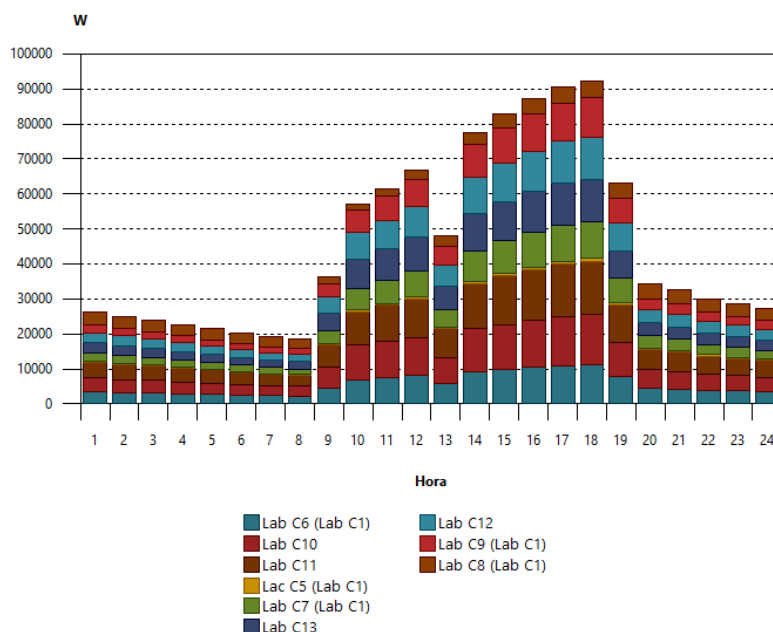


Figura 89: Evolução horária para as cargas máximas simultâneas de arrefecimento para o dia 21 de junho do piso 1.

Analisando os gráficos apresentados na Figura 90 (evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 0) e na Figura 91 (evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 1) podemos ver que durante o mês de junho as cargas de arrefecimento são mais altas. Fazendo uma comparação entre o mês de junho que é um mês de verão onde as temperaturas são altas, e o mês de julho que é um mês mais quente, mas por outro lado considerou-se uma afluência muito menor ao edifício o que faz com que o ganho de calor de interno seja menor, consequentemente as cargas junho são maiores.

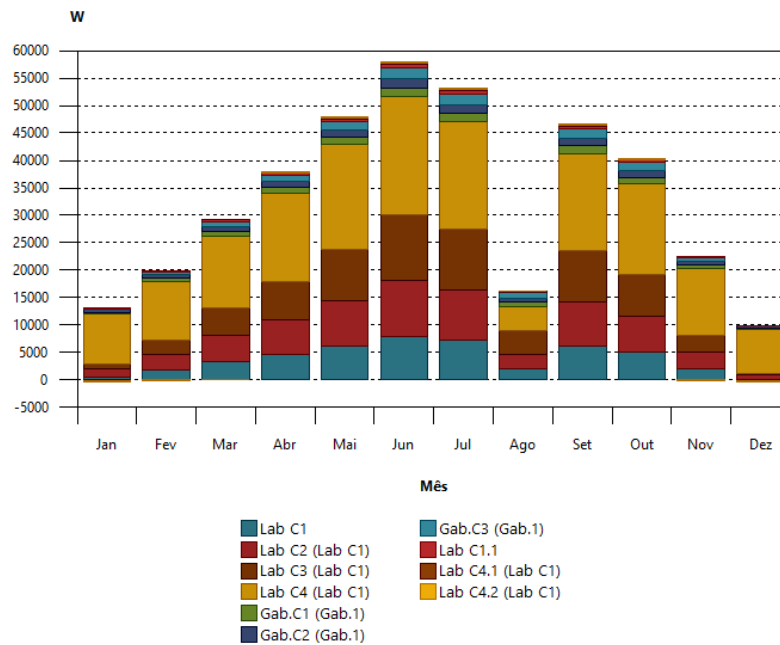


Figura 90: Evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 0.

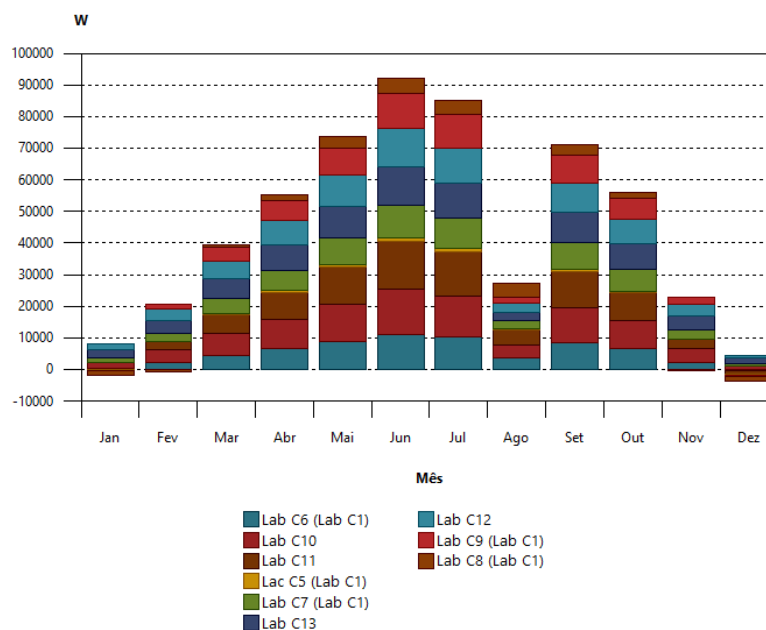


Figura 91: Evolução anual para as cargas de arrefecimento do piso 1.

### Carga máxima de aquecimento

A Figura 92 e a Figura 93 apresentam as cargas de aquecimento de cada compartimento do edifício.

Para o piso 0 podemos observar que as maiores cargas são do laboratório C4 seguido do laboratório C3, devido à troca de calor com ambientes não climatizados ou climatizados a temperaturas diferentes, mas também perdas de calor por condução com o exterior através das fachadas e à perda de calor por ventilação.

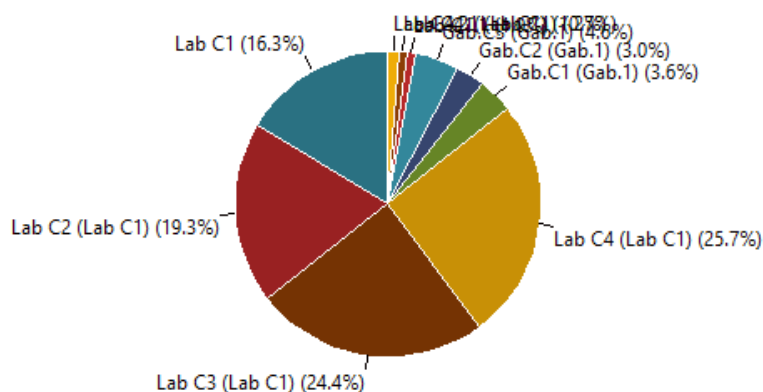


Figura 92: Cargas térmicas de aquecimento piso 0.

No piso 1 a maior carga de aquecimento regista-se no laboratório C11 que é em grande parte devido às perdas de calor por condução com o exterior através das fachadas e da cobertura, tendo igualmente grandes perdas de calor por ventilação.

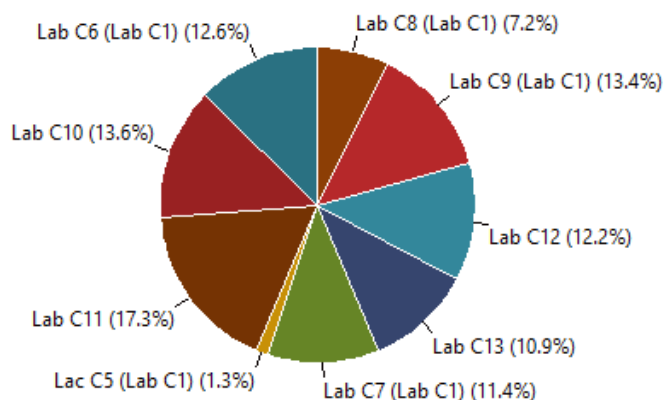


Figura 93: Cargas térmicas de aquecimento do piso 1.

Todos os resultados obtidos pelo software tiveram por base as características da cidade (Castelo Branco) em que o edifício se localiza, bem como as características das suas envolventes e considerando também os ganhos internos e os ganhos externos do mesmo.

### **5.3. Análise e considerações sobre os resultados**

De modo geral no que diz respeito a carga de arrefecimento pode-se constatar que durante o mês de junho as cargas atingem os valores anuais mais altos, em consequência dos ganhos de calor interno, ganhos de calor por radiação, pelas trocas

de calor por condução através das paredes exteriores e pela cobertura para o caso do piso 1, mas também pelos ganhos de calor por ventilação.

Para o caso da carga de aquecimento as maiores perdas dão-se devido as perdas de calor por condução com o exterior por intermédio das paredes, pelas perdas de calor por ventilação e pelas perdas de calor que acontecem devido aos espaços serem climatizados a temperaturas diferentes.

Vale ressaltar que o software CYPETHERM LOADS apresenta resultados mais detalhados para cargas de arrefecimento em comparação com as cargas de aquecimento.

# Capítulo 6

## Conclusões

## 6. Conclusões

### 6.1. Breve resumo do trabalho realizado

No início do 2º semestre de 2023-2024 foi proposto desenvolver-se um trabalho que tinha como objetivo a simulação dinâmica para o estudo térmico e energético de um edifício real.

Este trabalho desenvolveu-se por fases, cada uma das quais com os seus requisitos e dificuldades, as quais foram sendo ultrapassadas.

Primeiramente foi efetuado um estudo preliminar sobre os processos de transferência de calor e as formas de calcular as cargas térmicas, de modo a melhor compreender alguns dos parâmetros do software que viria a ser utilizado.

Ao mesmo tempo foi sendo explorada a plataforma BIMserver.center e os softwares disponíveis na respetiva STORE, fazendo-se simultaneamente a pesquisa de referências bibliográficas onde aqueles softwares foram utilizados. Nesta fase foram visualizados vários vídeos de tutoriais desses softwares de modo a melhor compreender o seu funcionamento e aplicação.

Na fase seguinte procedeu-se à seleção do edifício a estudar. Por uma questão de comodidade e de proximidade, optou-se por estudar o Bloco C da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco. Para esse efeito foi obtida a planta, em formato dwg e à escala de 1:100, de ambos de ambos os pisos. O estudo desta planta que permitiu identificar os diferentes compartimentos existentes bem como um conjunto de características arquitetónicas do edifício.

Atendendo a que uma planta 2D não possui toda a informação requerida para a simulação energética do edifício, houve que efetuar várias visitas ao local de forma a recolher dados das características do edifício, tanto no que diz respeito às características arquitetónicas, como no que diz respeito aos seus elementos constituintes. Nesta fase teve que utilizar algumas ferramentas tais como fita métrica e medidor de distância a laser para se obterem algumas dimensões tais como pé-direito de cada piso, alturas de janelas, alturas de portas e portões, altura ao solo dos parapeitos, etc.

Numa fase mais avançada do trabalho houve necessidade de voltar a visitar o edifício de modo a se obterem dados adicionais sobre ocupação dos espaços, quantificação de luminárias de teto e de parede, quantificação e caracterização de equipamentos elétricos e eletrónicos existentes.

Tendo por base as plantas em formato dwg e com a ajuda do software IFCBuilder, foi construído o modelo arquitetónico do edifício em estudo. Esta tarefa requereu a criação e a definição dos elementos construtivos do edifício, tais como paredes, lajes, aberturas, etc. Ainda com a ajuda do software IFCBuilder foram criados os diversos compartimentos e foi definida a orientação geográfica do edifício.

O modelo arquitetónico 3D do edifício estudado foi então exportado e sincronizado com a plataforma BIMserver.center.

A fase seguinte envolveu a utilização do software CYPETHERM LOADS. Entre outros dados, foram inseridos dados relativos à ocupação de cada espaço, à iluminação e à potência dos equipamentos elétricos e eletrónicos existentes.

Após todos os dados terem sido inseridos no software, foram gerados e analisados os resultados das cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento do edifício.

## **6.2. Apreciação do trabalho desenvolvido face aos objetivos previamente definidos**

A maioria dos objetivos inicialmente propostos foi cumprido, ficando apenas por fazer a comparação de resultados com outras ferramentas que utilizam outros métodos de cálculo. Contudo, o tempo despendido na aprendizagem das ferramentas utilizadas (sobretudo com o CYPETHERM LOADS) inviabilizou este objetivo. Salienta-se, no entanto, que outro colega de curso encontra-se a efetuar a simulação do mesmo edifício, mas por recurso ao software HAP da CARRIER, pelo que seria interessante confrontar os resultados obtidos em ambos os trabalhos.

A ideia inicial do projeto era partir de uma planta de um edifício, realizar a modelação arquitetónica e posteriormente fazer a simulação dinâmica do modelo, tanto para a estação de aquecimento (Inverno) como para a estação de arrefecimento (Verão). Inicialmente era esperado que o CYPETHERM LOADS fornecesse resultados mais detalhados em relação às cargas de aquecimento o que no final mostrou-se o contrário, visto que o software se foca muito mais no cálculo de cargas de abril a outubro.

## **6.3. Dificuldades e limitações**

Tal como referido anteriormente, apesar de já ter havido contacto com alguns softwares existentes na STORE do BIMserver.center, o software de modelação e cálculo das cargas térmicas teve uma curva de aprendizagem relativamente longa.

A maior dificuldade verificou-se no CYPETHERM LOADS, cuja informações de utilização são muito limitadas. A falta de informação mais detalhada de algumas características construtivas do edifício também se caracterizou como sendo uma das limitações na realização deste trabalho.

## **6.4. Melhorias a fazer**

Em relação a melhorias que se podem fazer ao presente trabalho, propõe-se as seguintes:

- Efetuar a simulação do edifício em outros softwares (EnergyPlus, TRACE 700, CARRIER HAP, etc.) com o objetivo de perceber as vantagens e limitações de cada bem como de comparar os resultados obtidos;
- Analisar as características construtivas do edifício de forma mais detalhada e apresentar soluções de melhoria;

- Considerar softwares que fazem a análise do conforto visual do edifício.

## Referências bibliográficas

- [1] “Principios de Transferencia de calor,” [Online]. Available: <https://transferenciadecalorkevin.blogspot.com/2016/01/resistencias-termicas.html>. [Acedido em 12 Maio 202].
- [2] R. Figueiredo, Transmissao de Calor, Lidel.
- [3] L. P. C. Neto, TRANSMISSAO DE CALOR (APONTAMENTOS TEORICOS), 2016/2017.
- [4] “Leca Saint-Gobain,” 04 2024. [Online]. Available: <https://www.leca.pt/glossario-leca/coeficiente-de-transmissao-termica-total-de-um-elemento>. [Acedido em 04 04 2024].
- [5] C. A. P. d. Santos e L. Matias, “COEFICIENTES DE TRANSMISSAO TERMICA DE ELEMENTOS DA ENVOLVENTE DOS EDIFICIOS- Versao actualizada 2206,” 2007.
- [6] Direção Geral de Energia e Geologia, “Guia SCE-Parametros de Calculo,” 13 Mar 20.
- [7] R. Valverde, “Atlas Solar da Bahia: Parte 2-Referencia Teórica,” [Online].
- [8] “Solistec,” [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fsolistec.com.br%2Fenergia-solar-como-funciona%2F&psig=AOvVaw1uXKpqS4L0lCe8-gC6i5Pc&ust=1720077815310000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCNjk46-riocDFQAAAAAdAAAAABAj>.
- [9] A. M. V. D. ROSA, “Estudo e Simulação do Comportamento Térmico e Energetico de um Edificio,” ISEL, 2019.
- [10] “Ecophon,” [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ecophon.com%2Fpt%2Fabout-ecophon%2Ffunctional-demands%2Fthermal-comfort%2F&psig=AOvVaw3QN-8nDtj5FYnPr1PuAjGk&ust=1719833901343000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCPjRiteeg4cDFQAAAAAd>. [Acedido em 07 2024].
- [11] J. F. D. N. Cartas, “Simulação dinamica de um edificio de escritorio com os programas EnergyPlus e Trace 700,” Instituto Superior Tecnico, Lisboa, 2011.
- [12] Cype, “Top Informatica- IFC Builder,” [Online]. Available: <https://www.topinformatica.pt/manuais/ifc-builder-exemplo-pratico-open-bim.pdf>. [Acedido em 07 2024].
- [13] Cype, “CYPETHERM LOADS - Manual do utilizador,” [Online]. Available: <https://www.topinformatica.pt/manuais/cypetherm-loads-exemplo-pratico-open-bim.pdf>. [Acedido em 07 2024].
- [14] Weatherspark. [Online]. Available: <https://weatherspark.com/y/32837/Average-Weather-in-Castelo-Branco-Portugal-Year-Round>.

- [15] E. L. d. B. Gomes, “Projeto de Térmica: Aplicação do Novo Regulamento de Desempenho Energetico dos Edificios de Habitação Novos,” isep, Porto, 2014.
- [16] “3TC ISOLAMENTO,” 10 06 2024. [Online]. Available: <https://www.3tc.com.br/blog/3-formas-transferencia-calor/>.
- [17] “DesignBuilder,” [Online]. Available: <https://designbuilder.co.uk/35-support/tutorials/96-designbuilder-online-learning-materials>. [Acedido em 07 2024].
- [18] Econova, “Econova,” [Online]. Available: <https://econova-institute.com/energy-plus-software-simulacion-energetica-edificios/>. [Acedido em 07 202].
- [19] Carrier, “Carrier,” [Online]. Available: <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>. [Acedido em 07 2024].
- [20] CYPE, “Estrutura de manual CYPE,” [Online]. Available: <https://www.topinformatica.pt/manuais/cypetherm-loads-exemplo-pratico-open-bim.pdf>.
- [21] cype, “Cype - BIMserver.center,” [Online]. Available: <https://info.cype.com/en/research/bimserver-center/>. [Acedido em 07 2024].

# **ANEXOS**

## **RESUMO DOS RESULTADOS DE CÁLCULO DE CARGAS**

## CARGAS DE ARREFECIMENTO PARA O PISO 0

<b>Resumo das cargas de arrefecimento da zona: Piso 0</b>														
	Externas					Internas		Ventilação			Totais			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Solar (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)
<b>Carga máxima de arrefecimento por compartimento</b>														
Lab C2 (Lab C1)	102	1485	646	0	0	1035	5929	198	-1472	2053	0	10113	99	10113
Lab C1	54	1175	636	0	0	945	4288	181	-1344	1874	0	7974	147	7974
Lab C3 (Lab C1)	172	2446	1347	0	0	900	6329	172	-1280	1785	0	11906	69	11906
Lab C4 (Lab C1)	123	2706	1339	0	0	3700	13315	172	-1280	1785	2420	19145	176	21565
Gab.C1 (Gab.1)	16	440	117	0	0	90	946	17	-126	176	0	1680	105	1680
Gab.C2 (Gab.1)	16	335	117	0	0	90	947	17	-126	176	0	1576	101	1576
Gab.C3 (Gab.1)	17	548	348	0	0	90	942	17	-126	176	0	2015	118	2015
Lab C1.1	7	100	0	0	0	55	417	9	-64	89	0	606	87	606
Lab C4.1 (Lab C1)	6	44	0	0	0	45	100	9	-64	89	0	233	40	233
Lab C4.2 (Lab C1)	16	116	0	0	0	45	78	9	-64	89	0	284	18	284
<b>Carga máxima simultânea de arrefecimento para o conjunto de compartimentos: 21 de Junho às 17h (15 hora solar aparente)</b>														
Piso 0	528.0							799			2420 55531 109.75 57952			
<b>Abreviaturas</b>														
<b>A</b>	Superfície													
<b>Condução</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução													
<b>Solar</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por radiação solar													
<b>Inf. lat.</b>	Infiltração latente													
<b>Inf. sens.</b>	Infiltração sensível													
<b>Lat.</b>	Latente													
<b>Sens.</b>	Sensível													

## CARGAS DE AQUECIMENTO PARA O PISO 0

<b>Resumo das cargas de aquecimento da zona: Piso 0</b>											
	Externas				Ventilação			Totais			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)
<b>Carga máxima de aquecimento por compartimento</b>											
Lab C2 (Lab C1)	101.7	4493	0	0	198	0	4590	0	9084	89.31	9084
Lab C1	54.3	3473	0	0	181	0	4191	0	7664	141.18	7664
Lab C3 (Lab C1)	172.3	7498	0	0	172	0	3992	0	11490	66.67	11490
Lab C4 (Lab C1)	122.6	8073	0	0	172	0	3992	0	12065	98.40	12065
Gab.C1 (Gab.1)	16.0	1319	0	0	17	0	395	0	1714	106.97	1714
Gab.C2 (Gab.1)	15.6	1035	0	0	17	0	395	0	1429	91.88	1429
Gab.C3 (Gab.1)	17.0	1767	0	0	17	0	395	0	2162	127.12	2162
Lab C1.1	6.9	290	0	0	9	0	200	0	490	70.68	490
Lab C4.1 (Lab C1)	5.9	140	0	0	9	0	200	0	340	57.55	340
Lab C4.2 (Lab C1)	15.7	372	0	0	9	0	200	0	572	36.44	572
<b>Carga máxima simultânea de aquecimento para o conjunto de compartimentos</b>											
<b>Piso 0</b>	<b>528.0</b>				<b>799</b>			<b>0</b>	<b>47009</b>	<b>89.02</b>	<b>47009</b>
<b>Abreviaturas</b>											
<b>A</b>	Superfície										
<b>Condução</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução										
<b>Inf. lat.</b>	Infiltração latente										
<b>Inf. sens.</b>	Infiltração sensível										
<b>Lat.</b>	Latente										
<b>Sens.</b>	Sensível										

## CARGAS DE ARREFECIMENTO PARA O PISO 1

<b>Resumo das cargas de arrefecimento da zona: Piso 1</b>														
	Externas					Internas		Ventilação			Totais			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Solar (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)
<b>Carga máxima de arrefecimento por compartimento</b>														
Lab C6 (Lab C1)	81	2135	1158	0	0	945	6096	181	-1344	1874	0	11263	139	11263
Lab C10	102	2573	1158	0	0	855	8735	163	-1216	1696	0	14162	139	14162
Lab C11	112	2922	1499	0	0	1350	8166	258	-1920	2678	0	15265	137	15265
Lac C5 (Lab C1)	8	321	0	0	0	45	471	9	-64	89	0	882	114	882
Lab C7 (Lab C1)	44	1508	760	0	0	1125	5967	215	-1600	2231	0	10466	238	10466
Lab C13	55	1691	881	0	0	945	7573	181	-1344	1874	0	12020	217	12020
Lab C12	53	1570	1077	0	0	1215	7160	232	-1728	2410	0	12217	229	12217
Lab C9 (Lab C1)	71	1618	0	0	0	1440	6684	275	-2048	2856	0	11158	157	11158
Lab C8 (Lab C1)	30	976	1180	0	0	720	1198	138	-1024	1428	0	4782	159	4782
<b>Carga máxima simultânea de arrefecimento para o conjunto de compartimentos: 21 de Junho às 17h (15 hora solar aparente)</b>														
<b>Piso 1</b>	<b>555.7</b>							<b>1651</b>			<b>0</b>	<b>92214</b>	<b>165.94</b>	<b>92214</b>
<b>Abreviaturas</b>														
<b>A</b>	Superfície													
<b>Condução</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução													
<b>Solar</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por radiação solar													
<b>Inf. lat.</b>	Infiltração latente													
<b>Inf. sens.</b>	Infiltração sensível													
<b>Lat.</b>	Latente													
<b>Sens.</b>	Sensível													

## CARGAS DE AQUECIMENTO PARA O PISO 1

<b>Resumo das cargas de aquecimento da zona: Piso 1</b>											
	<b>Externas</b>				<b>Ventilação</b>			<b>Totais</b>			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)
<b>Carga máxima de aquecimento por compartimento</b>											
Lab C6 (Lab C1)	80.9	6173	0	0	181	0	4191	0	10364	128.05	10364
Lab C10	101.6	7416	0	0	163	0	3792	0	11208	110.33	11208
Lab C11	111.7	8280	0	0	258	0	5987	0	14268	127.71	14268
Lac C5 (Lab C1)	7.7	895	0	0	9	0	200	0	1095	141.53	1095
Lab C7 (Lab C1)	44.0	4386	0	0	215	0	4990	0	9376	213.07	9376
Lab C13	55.5	4768	0	0	181	0	4191	0	8959	161.48	8959
Lab C12	53.3	4631	0	0	232	0	5389	0	10020	188.03	10020
Lab C9 (Lab C1)	70.9	4681	0	0	275	0	6387	0	11067	156.01	11067
Lab C8 (Lab C1)	30.0	2752	0	0	138	0	3193	0	5946	198.13	5946
<b>Carga máxima simultânea de aquecimento para o conjunto de compartimentos</b>											
<b>Piso 1</b>	<b>555.7</b>				<b>1651</b>			<b>0</b>	<b>82302</b>	<b>148.10</b>	<b>82302</b>
<b>Abreviaturas</b>											
<b>A</b>	Superfície										
<b>Condução</b>	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução										
<b>Inf. lat.</b>	Infiltração latente										
<b>Inf. sens.</b>	Infiltração sensível										
<b>Lat.</b>	Latente										
<b>Sens.</b>	Sensível										