



**Simulação Dinâmica e Análise do Desempenho  
Energético de um Edifício de Serviços  
Caso de Estudo: Residência Verde Estudantil do  
Instituto Politécnico de Bragança**

**Igor Machado Hufnagel Maranhã**

*Tese apresentada para a Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) no contexto do programa de Dupla Diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG) para obtenção do grau de Mestre em*

***Engenharia Industrial Eletrotécnica***

**Supervisionado por:**

Prof. Dr. Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares (IPB)

Prof. Carlos Henrique Silva Vasconcelos (CEFET-MG)

**Bragança, Portugal**

**2020**

## Agradecimentos

Aos meus orientadores Professor Doutor Orlando Soares e ao Professor Carlos Henrique, um sincero agradecimento por todo o apoio, paciência e orientação que tiveram ao longo da execução deste trabalho.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais pelas oportunidades que me proporcionou ao longo de todos estes anos, em principal, pelo acordo formado com o Instituto Politécnico de Bragança que tornou a realização deste trabalho possível.

A todo o corpo docente, administrativo e técnico de ambas as instituições, por me ajudarem na recolha de informações para desempenhar este trabalho.

À Deus por ser sempre meu guia em tudo que me disponho a fazer.

À minha família, que teve um papel fundamental em todo o meu percurso pessoal e académico.

Ao Gabriel, meu noivo, pela parceria, apoio, atenção, motivação, carinho e amor, que sem dúvida alguma me impulsionou para alcançar meus sonhos e objetivos.

Por último, aos meus amigos de caminhada, seja académica, seja de vida, obrigado pelo incentivo, paciência e carinho demonstrado durante toda esta etapa e pelos momentos especiais que carregarei para sempre comigo.

Espero poder comemorar esta conquista, com todos em breve! Um sincero obrigado!

*“Eu li em algum lugar que o importante na vida não é necessariamente ser forte, mas sentir-se forte ... para medir sua capacidade, pelo menos uma vez”*

*Christopher McCandless – A Natureza Selvagem*

## Resumo

Atualmente, os edifícios são um dos principais responsáveis pelo consumo de energia. Este elevado consumo e o seu impacto ambiental tem chamado cada vez mais atenção em alguns países, e, portanto, conduzindo à adoção de medidas de eficiência energética para promover a racionalização energética e a utilização sustentável das diferentes formas de energia.

O objetivo principal deste trabalho é mapear o comportamento energético de um edifício de serviços, neste caso, a Residência Verde Estudantil, localizado em Bragança, que a partir de recolha de informações relevantes – que vão desde suas características construtivas, que implicam no conforto térmico; passando pelo consumo energético pelas necessidades de aquecimento e arrefecimento, até anomalias provocadas pelo tempo e utilização – das quais serão responsáveis por apontar deficiências na influência destes fatores na eficiência do edifício, sendo realizadas comparações entre dados previamente fornecidos e coletados com simulações dinâmicas realizadas em software, neste caso, o *DesignBuilder*.

Utilizando os padrões impostos por órgãos governamentais e associações energéticas de Portugal, classifica-se como fundamental este tipo de estudo na hora de enfrentar a redução do consumo energético, pois o mesmo, permite estruturar os consumos, e então classificar sobre quais deles há uma maior possibilidade de economia, conhecendo o potencial econômico de uma instalação e sua rentabilidade, seja ela presente ou futura.

Comumente, subdivide-se o estudo em quatro fases, que englobam a preparação da intervenção (com o acesso as informações técnicas do local – faturas de eletricidade, plantas e características construtivas), a intervenção no local (visitas de campo, contagem de equipamentos, ocupação etc.), o tratamento de dados e por fim a elaboração do relatório (que deve conter todas as informações úteis).

**Palavras Chave:** Eficiência Energética, *DesignBuilder*, Simulação Dinâmica, Conforto Térmico.

## Abstract

Nowadays, buildings are a major contributor to energy consumption. This high consumption and its environmental impact have drawn increasing attention in some countries, and, therefore, leading to the adoption of energy efficiency measures to promote energy rationalization and the sustainable use of different forms of energy.

The main objective of this work is to map the energy behavior of a service building, in this case, the student residency, located in Bragança, which from the collection of relevant information - ranging from its constructive characteristics, which imply thermal comfort; from energy consumption to heating and cooling needs, to anomalies caused by time and use - which will be responsible for pointing out deficiencies in the influence of these factors on the efficiency of the building, with comparisons between data previously acquired and with dynamic simulations performed in software, in this case, *DesignBuilder*.

Using the standards imposed by government agencies and energy associations in Portugal, this type of study is classified as fundamental when it comes to facing the reduction of energy consumption, as it allows structuring consumption, and then classifying which of them has a greater savings possibility, knowing the economic potential of an installation and its profitability, whether present or future.

Commonly, the study is subdivided into four phases, which include the preparation of the intervention (with access to technical information on the site - electricity bills, plans and construction features), the intervention on the site (field visits, equipment counting, occupation, etc.), the processing of data and finally the preparation of the report (which must contain all useful information).

**Keywords:** Energy Efficiency, *DesignBuilder*, Dynamic Simulation, Thermal Comfort.

# Índice

1	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento .....	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.3.	Estrutura do Relatório.....	3
2	Enquadramento Legal.....	4
2.1	Diretiva n.º 2002/91/CE .....	4
2.2	Diretiva n.º 2010/31/EU .....	5
2.3	A nova Regulamentação Térmica Nacional, Decreto-Lei 118/2013 .....	5
2.3.1	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios .....	6
2.3.2	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) 7	
2.3.3	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) .....	8
3	Desempenho e Caracterização do Desempenho Energético de um Edifício.....	9
3.1	Tipos de Indicador de Eficiência Energética.....	9
3.2	Métodos de Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética Previsto ( $IEE_{PR}$ ) e Efetivo ( $IEE_{EF}$ ) .....	11
3.2.1	Método de previsão do $IEE_{PR}$ por Simulação Dinâmica.....	11
3.2.2	Método de previsão do $IEE_{PR}$ por Cálculo Dinâmico Simplificado .....	12
3.2.3	Método de determinação do $IEE_{EF}$ por Consumo Efetivo .....	12
3.3	Simulação Dinâmica.....	13
3.4	Performance e Análise Construtiva do <i>EnergyPlus</i> e <i>DesignBuilder</i> .....	14
4	Estudo de Caso: Residência Verde Estudantil.....	17
4.1	Eficiência Energética dos Edifícios .....	17
4.2	Caracterização do Edifício e das Infraestruturas Energéticas .....	18
4.2.1	Plano de Análise e Levantamento .....	21
4.2.2	Zoneamento Climático e do Terreno.....	21
4.2.3	Área Útil .....	23

4.2.4	Envolvente Térmica e Envidraçado .....	23
4.2.5	Ocupação .....	27
4.2.6	Iluminação .....	28
4.2.7	Consumos Globais de Energia e Emissões de Dióxido de Carbono Equivalentes (CO <sub>2e</sub> ) Associados.....	29
4.2.8	Tipos de Equipamentos e Tempo de Utilização .....	36
4.2.9	Eficiência Térmica e Climatização .....	37
4.2.10	Indicador de Eficiência Energética do Edifício.....	38
4.2.11	Patologias .....	38
5	Simulação Dinâmica Multizona.....	41
5.1	Modelo Computacional.....	41
5.2	Ajuste Característico e Análise Comparativa dos Resultados .....	45
5.3	Temperaturas, Humidade, Ganhos e Perdas .....	49
5.4	Classificação Energética do Edifício .....	53
6	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	55
7	Referências Bibliográficas .....	57
0	Anexos.....	59

# Índice de Figuras

Figura 1.1 - Evolução da Dependência Energética de Portugal [1].	1
Figura 1.2 - Consumo Energético Global por Setor em Portugal, adaptado [3].	2
Figura 3.1 - Logos EnergyPlus e DesignBuilder.	14
Figura 3.2 - Hierarquia Básica do DesignBuilder, adaptado [15].	15
Figura 4.1 - Visão Frontal.	18
Figura 4.2 - Vistas Exteriores e Laterais.	18
Figura 4.3 - (a) Quarto Individual, (b) Banheiro Individual, (c) Quarto Duplo e (d) Quarto Triplo.	19
Figura 4.4 - (a) Corredor das Alas, (b) Escadaria, (c) Arrumos e (d) Despensa.	19
Figura 4.5 - (a) Cozinha e (b) Banheiros de Uso Comum.	20
Figura 4.6 - (a) Recepção, (b) Salão de Convívio, (c) Sala de Estudos, (d) Leito Médico, (e) Lavandaria Geral e (f) Armazém.	20
Figura 4.7 - Zonas Climáticas (Inverno e Verão) em Portugal [17].	22
Figura 4.8 - Tipos de Paredes em Construções Típicas de Portugal ao longo dos anos [18].	24
Figura 4.9 - Tipos de Coberturas em Construções Típicas de Portugal ao longo dos anos [20].	26
Figura 4.10 - Cobertura da Residência Verde Estudantil.	26
Figura 4.11 - Caracterização Vidros Duplos [21].	27
Figura 4.12 - Percentagem de Lâmpadas por Tipo.	28
Figura 4.13 - Potência Total por Tipo de Lâmpada, expressa em W.	29
Figura 4.14 - Distribuição de Energia Residência Verde, adaptado.	30
Figura 4.15 - Energia Ativa Consumida na Residência Verde em kWh no ano de 2019.	31
Figura 4.16 - Distribuição de Gás Natural na Residência Verde CT (Corpos Centrais e Alas A, B, C e D) e Cozinhas (Alas A, B, C e D), adaptado.	32
Figura 4.17 - Consumo de Gás Natural Residência Verde em kWh no ano de 2019.	34
Figura 4.18 – Caldeiras.	37
Figura 4.19 - Painéis Solares Termodinâmicos.	38
Figura 4.20 - Fungos e Infiltrações presentes em Paredes, Pisos e Tetos.	39
Figura 5.1 - Representação Tridimensional Lateral e Axonométrica da Residência Verde Estudantil.	41
Figura 5.2 – Diagrama Solar sobre (a) Visão Frontal e (b) Visão Periférica.	42
Figura 5.3 - Composição e Resistência Térmica das Paredes.	43
Figura 5.4 - Composição e Resistência Térmica dos Pavimentos Intermédios.	43

Figura 5.5 - Composição e Resistência Térmica das Coberturas.....	43
Figura 5.6 - Comparação de Consumos Faturados e Simulados de Energia Elétrica, em kWh.....	46
Figura 5.7 - Comparação de Consumos Estimados e Simulados de Gás Natural, em kWh.....	47
Figura 5.8 - Comparação das Emissões de Dióxido de Carbono Reais e Simuladas, em toneladas.....	49
Figura 5.9 – Gráfico das Temperaturas Mensais Simuladas, em °C.....	50
Figura 5.10 – Gráfico da Humidade Relativa do Ar Mensal Simulada, em kg.m <sup>3</sup> . .....	51
Figura 5.11 - Gráfico das Principais Perdas pela Transferências de Calor da Envolvente do Edifício, em kWh.....	52
Figura 5.12 - Gráfico dos Principais Ganhos Internos do Edifício, em kWh.....	53
Figura 0.1 - Plantas Piso -2.....	59
Figura 0.2 - Plantas Piso -1.....	60
Figura 0.3 - Plantas Piso 0.....	61
Figura 0.4 - Plantas Piso 1.....	62
Figura 0.5 - Mapa de Vãos Envidraçados (1).....	63
Figura 0.6 - Mapa de Vãos Envidraçados (2).....	64
Figura 0.7 - Mapa de Vãos Envidraçados (3).....	65

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Enquadramentos relativos as Certificações do SCE [11].	7
Tabela 3.1 - Consumos de Energia a considerar para IEE <sub>S</sub> e IEE <sub>T</sub> , adaptado [12].	10
Tabela 4.1 - Requisitos Energéticos $U_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> °C) por Zona Climática [18].	22
Tabela 4.2 - Requisitos Energéticos $gT_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> °C) por Zona Climática [19].	22
Tabela 4.3 - Área Útil por Zona.	23
Tabela 4.4 - Espessura Mínima (cm) de Isolamento Térmico [18].	25
Tabela 4.5 - Energia Ativa Consumida Mensalmente no ano de 2019, em kWh.	31
Tabela 4.6 - Consumo Gás Natural no ano de 2017, em kWh.	33
Tabela 4.7 - Consumo de Gás Natural no ano de 2018, em kWh.	33
Tabela 4.8 - Consumo de Gás Natural no ano de 2019, em kWh.	34
Tabela 4.9 - Fatores de Conversão de Emissões de Dióxido de Carbono [24].	35
Tabela 4.10 - Emissões de Dióxido de Carbono Calculados, em toneladas.	35
Tabela 4.11 - Indicador de Eficiência Energética do Edifício.	38
Tabela 5.1 - Consumos Faturados e Simulados de Energia Elétrica, em kWh.	45
Tabela 5.2 - Consumos Estimados e Simulados de Gás Natural, em kWh.	47
Tabela 5.3 - Emissões de Dióxido de Carbono Reais e Simuladas, em toneladas.	48
Tabela 5.4 - Temperaturas Mensais Simuladas, em °C.	50
Tabela 5.5 - Humidade Relativa do Ar Mensal Simulada, em kg.m <sup>3</sup> .	51
Tabela 5.6 - Principais Ganhos e Perdas pela Transferências de Calor da Envolvente do Edifício, em kWh.	52
Tabela 5.7 - Principais Ganhos Internos do Edifício, em kWh.	53
Tabela 5.8 - Classe Energética [12].	54
Tabela 5.9 - Rácio de Classe Energética.	54
Tabela 0.1 - Levantamento Energético, Ala A.	66
Tabela 0.2 - Levantamento Energético, Ala B.	69
Tabela 0.3 - Levantamento Energético, Ala C.	72
Tabela 0.4 - Levantamento Energético, Ala D.	75
Tabela 0.5 - Levantamento Energético, Corpos Centrais.	78
Tabela 0.6 - Anomalias por Piso, Ala A.	80
Tabela 0.7 - Anomalias por Piso, Ala B.	80
Tabela 0.8 - Anomalias por Piso, Ala C.	81
Tabela 0.9 - Anomalias por Piso, Ala D.	81

## **Abreviaturas**

**ASHRAE** – *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis*

*Computer Programs*

**AVAC** – *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado*

**CO<sub>2</sub>** – *Dióxido de Carbono*

**CO<sub>2e</sub>** – *Dióxido de Carbono Equivalente*

**IEE<sub>EF</sub>** – *Indicadores de Eficiência Energética Efetivo*

**IEE<sub>PR</sub>** – *Indicadores de Eficiência Energética Previsto*

**IPB** – *Instituto Politécnico de Bragança*

**PCE** – *Pré Certificado Energético*

**RECS** – *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços*

**REH** – *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação*

**SCE** – *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios*

# 1 Introdução

## 1.1. Enquadramento

Após a primeira crise mundial do petróleo, na década de 70, existiu um receio com o uso racional de energia em diversos setores. O crescimento expressivo do esforço da energia em grande parte devido a comprovação de que os combustíveis fósseis não são ilimitados e que sua utilização em larga escala possui grande impacto ambiental, tiveram como resultado diversas iniciativas e atitudes com a intenção de estimular a eficiência energética.

Como consequência da ausência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como petróleo e gás natural, que configuram um peso expressivo no consumo total de energia primária, Portugal, nos últimos vinte anos, tem apresentado uma dependência energética que varia em torno de 70% e 90%, indicado graficamente na Figura 1.1. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para níveis inferiores a 80%. [1]

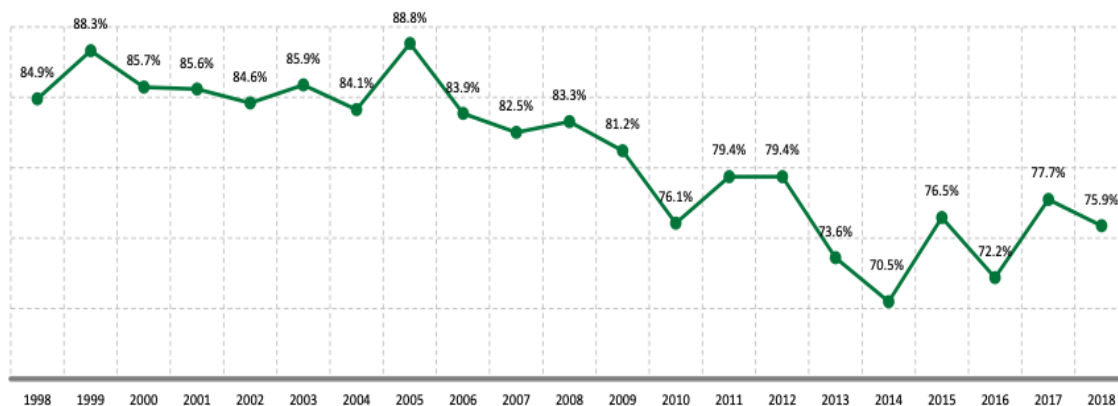


Figura 1.1 - Evolução da Dependência Energética de Portugal [1].

A Europa tem um stock edificado com mais ou menos 25 bilhões de m<sup>2</sup> de setor utilizável de pavimento, onde cerca de 25% são de consumo não residencial. O setor dos edifícios na Europa consome aproximadamente 40% das necessidades energéticas – correspondendo à maior percentagem entre todos os setores, sendo 27% associados a edifícios residenciais e 13% associados a edifícios de serviços. Os edifícios são também responsáveis por 36% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Em Portugal, o setor dos transportes é aquele que mais contribui para a utilização final de energia, com uma expressão de cerca de 36%, enquanto os edifícios representam 30% (16,7% - doméstico e 13,3% - serviços), graficamente representado pela Figura 1.2 . Ao contrário do que acontece na União Europeia, em que os edifícios representam a maior fatia do consumo [2].

Apesar de apresentar uma menor parcela no que diz respeito a utilização final de energia quando comparadas a outro setor, com o intuito de minimizar os consumos, a eficiência energética dos edifícios constitui um componente central importante.

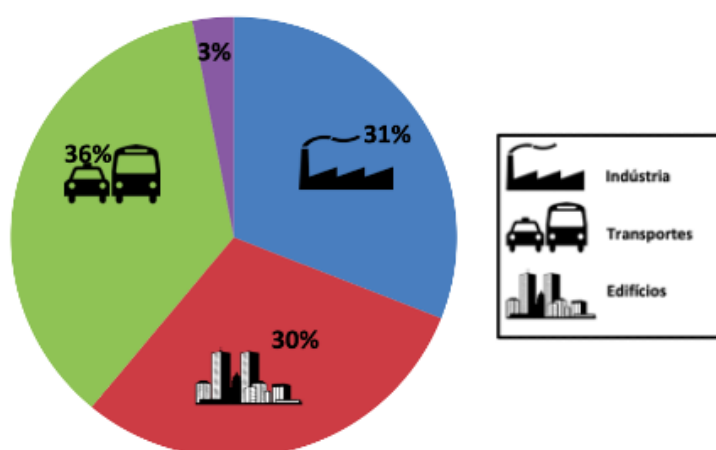


Figura 1.2 - Consumo Energético Global por Setor em Portugal, adaptado [3].

É neste cenário que surgiu a necessidade de criação da Diretiva nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, e que sofreu atualização para a Diretiva nº 2010/31/EU, de 19 de maio de 2010, e que sucessivamente veio a ser transcrita em 2013, para legislação portuguesa, através do Decreto-Lei n.º 118/2013, com o intuito de simplificar, unificar e otimizar o processo da certificação energética.

## 1.2. Objetivos

O propósito principal desta tese é avaliar detalhadamente o desempenho energético de um edifício de serviços, neste contexto, a Residência Verde Estudantil do Instituto Politécnico de Bragança, respeitando a leis nacionais e diretivas europeias. Para executar esta avaliação energética utilizou-se um software creditado pela norma ASHRAE, e pela legislação portuguesa, o *DesignBuilder*. Este software computacional

aplica cálculos dinâmicos, que permitem analisar de uma forma qualitativa o comportamento elétrico e térmico da construção.

Com o uso do *DesignBuilder* e com acesso as características construtivas e faturas de energia e gás natural, é possível, construir o modelo em software, e através de simulações e análises de dados, obter uma validação do mesmo, com o intuito de investigar pontos passíveis de melhoria, seja através da otimização da matriz através de testes de melhoria no modelo, seja propondo soluções pertinentes.

### **1.3. Estrutura do Relatório**

A estrutura deste trabalho é dividida em vários capítulos de modo a permitir a melhor compreensão dos temas abordados. Desta maneira, estrutura-se o trabalho da seguinte forma:

- *Capítulo 1:* enquadramento do tema da dissertação, onde se introduz os pontos chave relativos à motivação para a realização do trabalho, bem como os objetivos que se pretendem atingir com o estudo;
- *Capítulo 2:* descrição de legislações e diretivas primordiais para o seguimento do estudo da eficiência energética em Portugal;
- *Capítulo 3:* desempenho e caracterização dos indicadores de eficiência energética dos edifícios, e performance e análise construtiva através de softwares computacionais;
- *Capítulo 4:* relato do estudo de caso e a fundamentação teórica correlacionada a execução da análise de desempenho e caracterização das infraestruturas energéticas. Neste capítulo são inseridos todos os dados coletados pelo levantamento de campo e os consumos;
- *Capítulo 5:* apresentação do modelo computacional criado para a simulação dinâmica, bem como, análise dos resultados em comparação com os dados obtidos no levantamento;
- *Capítulo 6:* conclusões a respeito de todo o trabalho realizado e sugestões de aprimoramento e novos trabalhos para o futuro;
- *Capítulo 7:* referencial teórico e anexos, com o objetivo de centralizar toda informação relevante não inserida nos capítulos anteriores;

## 2 Enquadramento Legal

O Protocolo de Quioto obriga todos os seus signatários a estabelecer programas nacionais de redução das emissões de gases com efeito estufa e a apresentar relatórios regulares. Portugal, no que diz respeito aos compromissos definidos pela União Europeia, assumiu responsabilidades e instituiu um consenso sobre a importância de melhorar a eficiência energética dos edifícios e de reduzir o consumo de energia e as correspondentes emissões de CO<sub>2</sub> [4]. Desta forma, foram criadas legislações e diretivas que regulamentam e fiscalizam este setor, sendo os mesmos explicitados nos tópicos a seguir.

### 2.1 Diretiva n.º 2002/91/CE

Com as preocupações e responsabilidades assumidas por Portugal citadas anteriormente, criou-se a Diretiva n.º 2002/91/CE, da qual merece destaque os seguintes requisitos:

- a. Implementação de um sistema de certificação energética de forma a informar os indivíduos sobre a qualidade térmica dos edifícios, desde o momento da sua eventual construção, sua venda ou arrendamento, partindo da exigência que os sistemas de certificação abranjam igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público;
- b. *Edifícios existentes*: a comprovação energética destina-se a oferecer informações sobre as atitudes de beneficiação de performance, com possibilidade económica, que o proprietário pode efetivar para diminuir as suas despesas energéticas e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência energética do edifício.
- c. *Edifícios novos e edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de recuperação*: a comprovação energética permite atestar a correta aplicação da lei térmica em validade para a construção e para os seus sistemas energéticos, com a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de grande eficiência energética para diminuição do consumo [5].

## **2.2 Diretiva n.º 2010/31/EU**

Em 19 de maio de 2010, a Diretiva 2002/91/CE veio a ser reformulada, com o intuito de facilitar, esclarecer e fortalecer determinadas disposições, com o objetivo claro de aproveitar do potencial de redução do custo operacional dos edifícios e consequentemente aumento da eficiência energética [6], bem como promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios levando em consideração as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências de climatização interior. Desta maneira, ocorreu a criação da Diretiva 2010/31/EU, mantendo certos pontos já preestabelecidos, entretanto acrescentando novas diretrizes, das quais de forma resumida, vale a pena destacar:

- a. Redução da dependência energética do exterior, das emissões de gases de efeito de estufa e dos custos de energia para os consumidores;
- b. Aumento do conforto dos moradores dos edifícios;
- c. Contribuição para a sustentabilidade [7].

A finalidade principal da diretiva é reduzir as emissões de dióxido de carbono através da redução do consumo de energia dos edifícios, mas também, sua reformulação relativiza o desempenho energético dos mesmos [8], [9]. A mesma sofreu alterações inseridas na Diretiva 2018/844/EU que acrescenta especificações a respeito de energias renováveis, mas que não destoam do foco principal da diretiva em questão.

## **2.3 A nova Regulamentação Térmica Nacional, Decreto-Lei 118/2013**

Como mencionado previamente, no ano de 2013, a Diretiva 2010/31/EU foi transcrita para a legislação portuguesa, pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, com o objetivo de simplificar, unificar e otimizar o processo da certificação energética. Este Decreto-Lei agrupa unicamente em um documento, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), explicitando claramente a segmentação na esfera do RECS e do REH. Tal divisão, passou a afetar, especialmente, aos edifícios de comércio e serviços

e habitação, favorecendo o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, ao mesmo tempo que reconhece as especificações técnicas de cada tipo de edifício naquilo que é mais importante para a melhoria e caracterização da performance energética.

A análise de performance energética e as definições destes requisitos dos edifícios passa a fundamentar-se nos seguintes pilares: no caso de edifícios de habitação assumem lugar de importância o comportamento térmico juntamente com eficiência dos sistemas, aos quais se estendem, no caso dos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a preservação de sistemas técnicos. Para cada um destes pilares são, também, definidos princípios gerais, substancializados em requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande interferência e edifícios existentes [10].

Por conseguinte, foram definidos padrões mínimos de eficiência energética para os sistemas de climatização, de preparação de águas quentes sanitárias, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e de gestão de energia.

### **2.3.1 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios**

O SCE tem como objetivo certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior nos edifícios e esta certificação é realizada por técnicos qualificados. Suas funções estão em realizar a avaliação energética dos edifícios, identificar e avaliar as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético, emitir os certificados e submeter ao SCE o plano de racionalização energética. No caso de licenciamento ou de autorização de construção de um novo edifício, o técnico deve emitir um pré-certificado, conhecido como PCE, correspondente a um certificado de projeto, onde é atestado que o projeto cumpre os requisitos impostos pelos regulamentos [2], [10].

São abrangidos pelo SCE os edifícios ou frações autônomas do edifício, novos ou sujeitos a grande intervenção, nos termos do REH e RECS. O SCE abrange também os edifícios de comércio e serviço com as seguintes características:

- a. Com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m<sup>2</sup>, ou 500 m<sup>2</sup> no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;

- b. Que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 250 m<sup>2</sup>.

São excluídos do SCE instalações industriais, agrícolas ou pecuárias, edifícios utilizados para atividades religiosas, armazéns, estacionamento, oficinas, infraestruturas militares e ligados aos sistemas de informações e de segurança que se encontram sujeitos a regras de controle de confidencialidade, dentre outros [2].

O enquadramento relativo ao tipo de edifício, são divididos em duas categorias, sendo um de habitação e outro de comércio e serviços. A Tabela 2.1 apresenta em detalhes o enquadramento de cada tipo de edifício e qual certificação deve receber.

*Tabela 2.1 - Enquadramentos relativos as Certificações do SCE [11].*

<b>Modelo de PCE</b>	<b>Categoria de edifício ou fração</b>	<b>Descrição</b>
<i>Edifício de Habitação</i>	Habitação	Edifícios ou frações de edifícios de habitação no âmbito do RHE, independentemente de dispor de sistemas de climatização.
<i>Edifício de comércio e Serviços</i>	Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização	Pequeno edifício de comércio de serviços sem climatização no âmbito do RECS, correspondente a pequeno edifício ou fração destinados a comércio e serviços que não disponha de sistema de climatização, ou cujo sistema de climatização tenha uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento ambiente, igual ou inferior a 25kW.
	Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização	Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização no âmbito do RECS, correspondente a pequeno edifício ou fração destinados a comércio e serviços que disponha de sistema de climatização com uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento ambiente, superior a 25kW.
	Grande edifício de comércio e serviços	Grande edifício de comércio e serviços no âmbito do RECS, correspondente a grande edifício destinado a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização, de área superior a 1000 m <sup>2</sup>

### **2.3.2 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)**

O REH estabelece os requisitos, parâmetros e métodos para caracterizar o desempenho energético de todos os edifícios residenciais para promover um melhor conforto térmico e eficiência do sistema. Este regulamento é adequado para projetos de construção de novas moradias e construções de moradias existentes que tenham sofrido grandes intervenções ambientais ou nos seus sistemas técnicos. Os edifícios

cobertos pelo REH são avaliados para melhorar o seu desempenho térmico, prevenir doenças, melhorar o conforto ambiental e reduzir o consumo de energia [11].

O Decreto n.º 118-2013, previamente citado, determina os requisitos de qualidade térmica em diferentes aspectos, incluindo o coeficiente de transferência de calor, os requisitos mínimos para a ventilação do espaço, a taxa mínima de renovação do ar e o valor nominal da energia útil para aquecimento e refrigeração de edifícios [10].

### **2.3.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)**

O Decreto nº 118-2013 a respeito do RECS estabelece as diretrizes a serem seguidas na construção, reforma, operação e manutenção de edifícios comerciais, de serviços e seus sistemas técnicos. O RECS determina requisitos para a caracterização do desempenho de edifícios de forma a promover a melhoria da eficiência energética e da qualidade do ar interior.

Como resultado, centra-se nas componentes de ar condicionado, preparação de água quente sanitária, iluminação, energia, energias renováveis, elevadores e sistema de gerenciamento de escadas rolantes [11].

### 3 Desempenho e Caracterização do Desempenho Energético de um Edifício

O desempenho energético de edifícios comerciais e de serviços pode ser expresso através dos seus indicadores de eficiência energética (IEE), descritos nos tópicos a seguir:

#### 3.1 Tipos de Indicador de Eficiência Energética

O Indicador de Eficiência Energética é determinado, segundo a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, com base no somatório dos diferentes consumos de energia durante um ano, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento [12], baseado na Equação 3.1.

$$IEE = IEE_S + IEE_T + IEE_{ren} \text{ [kWh}_{EP}/m^2 \cdot \text{ano}] \quad (3.1)$$

Em que:

- I.  $IEE_S$ , representa os consumos de energia que serão utilizados para a futura classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação 3.1 e considerando os consumos anuais de energia por fonte de energia  $E_{S,i}$ , indicados na Equação 3.2.

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{C,i}) \text{ [kWh}_{EP}/m^2 \cdot \text{ano}] \quad (3.2)$$

Onde:

- $E_{S,i}$  é o consumo de energia por fonte  $i$  de energia para os usos do tipo S em kWh/ano;
- $A_p$  é a área interior útil de pavimento em  $m^2$ ;
- $F_{C,i}$  é o fator de energia útil para energia primária que representa o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária em  $\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$

Tabela 3.1 - Consumos de Energia a considerar para IEE<sub>S</sub> e IEE<sub>T</sub>, adaptado [12].

Consumos IEE <sub>S</sub>	Consumos IEE <sub>T</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aquecimentos e refrigeração;</li> <li>▪ Bombagem e ventilação em sistemas de climatização;</li> <li>▪ Aquecimento de piscinas e águas sanitárias;</li> <li>▪ Iluminação exterior e interior.</li> <li>▪ Elevadores, escadas e tapetes rolantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ventilação e bombagem não associada ao controle de carga térmica;</li> <li>▪ Iluminação de utilização pontual;</li> <li>▪ Iluminação exterior;</li> <li>▪ Todo o restante dos equipamentos não incluídos nos consumos IEE<sub>S</sub>.</li> </ul>

II. IEE<sub>T</sub> representa os consumos de energia que não serão considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação 3.3 considerando os consumos anuais de energia por fonte de energia E<sub>T,i</sub>, indicados na Tabela 3.1.

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{C,i}) [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.3)$$

Onde:

- E<sub>T,i</sub> é o consumo de energia por fonte *i* de energia para os usos do tipo T em kWh/ano;
- A<sub>p</sub> é a área interior útil de pavimento em m<sup>2</sup>;
- F<sub>C,i</sub> é o fator de energia útil para energia primária que representa o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária em kWh<sub>EP</sub>/kWh.

III. IEE<sub>ren</sub> representa o consumo energético a partir de fontes renováveis E<sub>ren,i</sub>, é contabilizado apenas para a energia elétrica destinada a autoconsumo. O cálculo é feito a partir da Equação 3.4.

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{C,i}) [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.4)$$

Onde:

- E<sub>ren,i</sub> é a produção de energia por fonte de energia renovável sendo *i* em kWh/ano;
- A<sub>p</sub> é a área interior útil de pavimento em m<sup>2</sup>;
- F<sub>C,i</sub> é o fator de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária em kWh<sub>EP</sub>/kWh.

## **3.2 Métodos de Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética Previsto ( $IEE_{PR}$ ) e Efetivo ( $IEE_{EF}$ )**

Para a determinação  $IEE_{PR}$  e  $IEE_{EF}$  deve-se levar em consideração os seguintes métodos, que não só auxiliam como padronizam estes indicadores:

- a. Método de previsão do  $IEE_{PR}$  por simulação dinâmica;
- b. Método de previsão do  $IEE_{PR}$  por cálculo dinâmico simplificado;
- c. Método de determinação do  $IEE_{EF}$  por consumo efetivo.

Todos estes métodos descritos acima, serão explicados nos tópicos a seguir.

### **3.2.1 Método de previsão do $IEE_{PR}$ por Simulação Dinâmica**

A simulação dinâmica, como um dos pilares do trabalho apresentado, descrita mais detalhadamente no Tópico 3.3 e Capítulo 5 deve ser executada por um programa reconhecido pela norma ASHRAE 140, e a previsão do IEE determinado por este método deve atender aos requisitos mínimos para modelagem descritos abaixo:

- a. Presença de mais de uma zona térmica;
- b. Ter incremento de tempo horário e durante o período de um ano;
- c. Apresentar uma variação horária de cargas internas, separado por ocupação, iluminação e equipamentos;
- d. Permissão da parametrização independente de dias de semana e fins de semana, com pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização;
- e. Recuperação de calor do ar de rejeição;
- f. A decorrência da massa térmica do edifício [12].

### **3.2.2 Método de previsão do IEE<sub>PR</sub> por Cálculo Dinâmico Simplificado**

No método para cálculo dinâmico simplificado, a variável IEE tem o objetivo de estimar as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, além de outros tipos de energia, sendo esta, determinada com base no balanço horário de energia e estimação do consumo por meio de cálculos anuais simples. Portanto, algumas simplificações e premissas metodológicas devem ser levadas em consideração:

- a. Cálculo da energia necessária para aquecimento e arrefecimento de uma zona específica, seja ela quente ou fria;
- b. Apresentação do uso do tempo solar;
- c. Sempre que a radiação solar na fachada for superior a 300 W/m<sup>2</sup>, submeter a utilização de equipamentos para sombreamento;
- d. Fatores solares, fatores de obstáculo, fragmentos de vidro, espaços complementares e coeficientes de redução de perdas para edifícios adjacentes, coeficientes de absorção de radiação solar para ambientes opacos e pontes térmicas planas, devem ser levados em consideração os coeficientes de transferência de calor externos, internos e externos sob contato com o solo, de acordo com os regulamentos REH e RECS [12].

### **3.2.3 Método de determinação do IEE<sub>EF</sub> por Consumo Efetivo**

Com o objetivo de cálculo para o consumo médio anual de energia final por fonte de consumo anual e produção energia desagregado por distintos tipos de utilização, deve-se considerar:

- a. Utilização de 36 meses ou, no mínimo, 12 meses de faturas de energia e/ou registros de contagem de energia para representar o funcionamento do edifício em condições normais de funcionamento;
- b. Os dados provenientes de um sistema de gestão de energia, além dos resultados provenientes de uma avaliação energética satisfatória [12].

### 3.3 Simulação Dinâmica

A simulação dinâmica nada mais é do que a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respectivamente, sistemas energéticos que leva em consideração a evolução de todos os parâmetros pertinentes com a precisão adequada, com uma base de tempo horária para diferentes zonas térmicas e condições climáticas com um ano de referência [10]. Além disso, pode ser definida como a introdução das características do edifício que, com um adequado nível de abstração, representem a realidade. Como um edifício é composto por milhares de variáveis, é necessário somente demonstrar as mais essenciais e simplificar ou não incluir as de menor importância [13].

Dessa maneira para simular a realidade, usando softwares de simulação, se faz necessário seguir três passos:

- a. Criação do modelo – neste ponto é efetivado uma representação estratégica do edifício num conhecido ponto, por meio de uma representação, com um certo nível de abstração;
- b. Simulação – neste ponto é introduzido o modelo na ferramenta de simulação e ajustado a ferramenta de forma que os resultados atingidos reflitam aquilo que se deseja investigar;
- c. Análise de resultados – neste ponto são analisados todos os resultados obtidos pela ferramenta de simulação, de modo a gerar os indicadores de desempenho que se quer quantificar [6].

Edifícios com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup> utilizam o Regulamento de Desempenho Energético de Edifício de Comércio e Serviços (RECS) onde a sua simulação térmica detalhada e multizona devem utilizar softwares acreditados pela norma ANSI/ASHRAE 140-2004. Neste estudo utiliza-se o software *DesignBuilder*.

### 3.4 Performance e Análise Construtiva do *EnergyPlus* e *DesignBuilder*

*EnergyPlus*<sup>TM</sup> é um programa completo de simulação de energia de edifícios que utilizado para modelar o consumo de energia - para aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e conexão e processo de cargas, além do uso de água em edifícios. Alguns dos recursos e capacidades notáveis do *EnergyPlus* incluem:

- a. Solução integrada e simultânea das condições da zona térmica;
- b. Solução baseada em equilíbrio de calor;
- c. Etapas de tempo sub-horárias previamente definidas pelo usuário
- d. Transferência combinada de calor e massa;
- e. Modelos avançados de fenestração;
- f. Cálculos de iluminação e brilho;
- g. AVAC baseado em componentes, AVAC embutido com estratégias de iluminação;
- h. Interface Modelo Funcional, com resumo padrão e relatórios detalhados de saída [14].

No entanto, é importante ressaltar que o *EnergyPlus* não possui uma interface gráfica para o usuário. Portanto, necessita de terceiros, que a partir da entrada e a saída de textos ASCII, obtém-se uma melhor visualização gráfica dos processos. Essa abordagem dá autonomia aos designers de interface, capazes de produzir cada vez mais interfaces inteligentes e de qualidade, sendo um exemplo claro, e objeto de estudo em questão, o *DesignBuilder*.



Figura 3.1 - Logos *EnergyPlus* e *DesignBuilder*.

Com o *DesignBuilder* é possível construir um modelo do edifício, caracterizando os sistemas energéticos e realizando simulações determinantes para obtenção de consumos, potências, climatização, iluminação, e criação de estratégias de otimização da matriz energética em estudo. Este software se baseia numa interface hierárquica, descrita na Figura 3.2 abaixo:

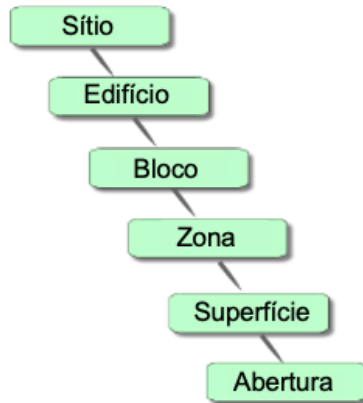


Figura 3.2 - Hierarquia Básica do DesignBuilder, adaptado [15].

As conceituações dos níveis hierárquicos são descritas da seguinte maneira:

- a. *Sítio*: localização do edifício;
- b. *Edifício*: é a construção representada pelo modelo;
- c. *Bloco*: são os componentes básicos do *DesignBuilder* e são delimitados pelas paredes externas da construção;
- d. *Zona*: são aquelas criadas a partir da divisão de blocos, cada zona deve caracterizar um ambiente com diferentes características de climatização;
- e. *Superfície*: são aquelas que compõem as zonas;
- f. *Aberturas*: são aquelas que podem ser criadas no nível da superfície.

A contextualização da Figura 3.2 é feita tendo em vista que os dados padrões são herdados do nível acima na hierarquia, portanto, os dados dos blocos são herdados do nível do edifício, os dados da zona são herdados dos dados dos blocos, e assim por diante. Esta disposição permite que todos os níveis inferiores herdem as características e/ou dados impostos a níveis superiores a elas.

Para a construção do modelo, deve-se ter em conta a escolha da localização física geográfica da edificação, que conseqüentemente afetará toda a simulação, pois a ferramenta de simulação dinâmica associa um conjunto de características climáticas e informações listadas em seu banco de dados associadas a esta localização previamente definida, de forma que os resultados estejam alinhados com a realidade, pois o clima tem uma grande influência nas necessidades de aquecimento e resfriamento, bem como o relevo e a trajetória do sol, com predomínio direto na iluminação e o rendimento térmico dos edifícios.

O programa conta com cinco separadores, onde as informações recolhidas durante o levantamento são inseridas:

- a. *Atividade*: neste separador o usuário insere os dados relativos a ocupação do edifício e seu controle da temperatura. A ocupação define o número de pessoas que ocupam determinado espaço da construção em determinados períodos de tempo. O *software* então considera a necessidade de calor e arrefecimentos dos ocupantes, bem como contabiliza o calor proveniente de seus metabolismos. Tendo em vista que o número de ocupantes no edifício não é constante ao longo do dia. Para determinar a ocupação exata a cada hora usa-se uma configuração específica, capaz de atribuir valores de ocupação para diferentes horas do dia, podendo esse ser zero, por exemplo, para feriados, férias ou fins de semana;
- b. *Construção*: nesta aba são inseridos dados referentes ao tipo de construção e material utilizado nos componentes do edifício;
- c. *Aberturas*: caracterização das aberturas, vidraças, proteções solares em portas e janelas.
- d. *Iluminação*: neste separador são inseridos dados de luminárias, lâmpadas, horário de utilização e as emissões de calor que são radiadas através das luminárias.
- e. *AVAC*: características relativas ao sistema de climatização [15].
- f. *Geração*: separador reservado a utilização de energias renováveis para geração de energia.

Matematicamente, o software engloba uma série de cálculos responsáveis por caracterizar as seguintes propriedades:

- a. *Projeto de Aquecimento*: onde há dimensionamento dos equipamentos para aquecimento, a partir de cálculos do projeto, necessários para atender as condições climáticas do local em épocas mais frias;
- b. *Projeto de Arrefecimento*: onde há dimensionamento dos equipamentos para arrefecimento, a partir de cálculos do projeto necessários para atender as condições climáticas do local. Em zonas que não são aquecidas mecanicamente, os sistemas AVAC influenciam nos cálculos das temperaturas;
- c. *Simulação*: onde os dados são gerados detalhadamente devido a simulações, a partir das condições climáticas do local;
- d. *Luz Natural*: sobre o plano de trabalho do edifício é capaz de fornecer cálculos detalhado dos níveis de iluminação;
- e. *Custo e Carbono*: permite visualizar o custo de construção do edifício e seu nível de carbono [15].

## 4 Estudo de Caso: Residência Verde Estudantil

Nos tópicos a seguir será apresentado uma visão ampla do tema do trabalho e das características do edifício em estudo que posteriormente serão utilizadas na implementação da simulação do modelo realístico, respeitando o levantamento de dados e informações que foram coletados neste capítulo.

### 4.1 Eficiência Energética dos Edifícios

No momento em que se analisa a eventualidade da inclusão de medidas de eficiência energética em um determinado edifício, deve-se ter em conta as seguintes características:

- a. Isolamento térmico nos elementos opacos da envolvente;
- b. Aparição de pontes térmicas (onde há maior perda de calor em pontos específicos em comparação às restantes áreas) na envolvente do edifício.
- c. Valores de ajuste do conforto de temperatura e humidade;
- d. Performance térmica de portas e vãos envidraçados (podendo acarretar perdas de calor por propagação térmica e por infiltrações de ar)
- e. Regulagem de carga térmica nas estações de arrefecimento, proveniente de proteções solares adequadas nos vãos envidraçados.
- f. Controle de ventilação, de forma a otimizar os níveis de humidade ocasional e temperatura. A humidade amplifica a condutividade térmica da maior parte dos materiais isolantes diminuindo a sua eficiência, além de ser danoso para a saúde, pois favorece o desenvolvimento de bactérias.
- g. Gestão consciente do uso, relacionada ao estado de portas e janelas, bem como climatização apenas em espaços necessários [16].

Quando as características acima explicitadas diferem do que foi proposto, pode-se realizar uma análise técnica, energética e construtiva no edifício, a fim de encontrar pontos anômalos que necessitam intervenção. O estudo proposto engloba a preparação da intervenção (com o acesso as informações técnicas do local – faturas de eletricidade, plantas e características construtivas), a intervenção no local (visitas de campo, contagem de equipamentos, ocupação etc.), o tratamento de dados e simulações em software e por fim a elaboração do relatório (que deve conter todas as informações úteis). Todas as informações descritas acima serão apresentadas nos tópicos a seguir.

## 4.2 Caracterização do Edifício e das Infraestruturas Energéticas

O edifício em estudo é a Residência Verde Estudantil, vide Figura 4.1 e Figura 4.2, sendo esta umas das seis residências que servem como alojamento aos alunos do IPB estando localizada dentro das imediações do campus em Bragança. Teve sua inauguração em 30 de Julho de 1993.



*Figura 4.1 - Visão Frontal.*



*Figura 4.2 - Vistas Exteriores e Laterais.*

No ano de 2019, serviu de moradia para aproximadamente 200 estudantes, entre eles 114 homens e 86 mulheres, separados nas quatro alas (A, B, C e D) que o edifício dispõe, em 29 quartos individuais, 61 duplos e 15 triplos, além de 4 quartos acessíveis para pessoas portadoras de deficiência, com banheiros individuais, dos quais alguns espaços podem ser vistos nas Figura 4.3 e Figura 4.4.



Figura 4.3 - (a) Quarto Individual, (b) Banheiro Individual, (c) Quarto Duplo e (d) Quarto Triplo.



Figura 4.4 - (a) Corredor das Alas, (b) Escadaria, (c) Arrumos e (d) Despensa.

Além disso, oferece espaços coletivos: como salas de estudos, cozinhas, banheiros, lavanderia, enfermaria e espaços de convivência. Nesta residência está localizada também a lavanderia geral, todos estes espaços são mostrados nas Figura 4.5 e Figura 4.6.



Figura 4.5 - (a) Cozinha e (b) Banheiros de Uso Comum.

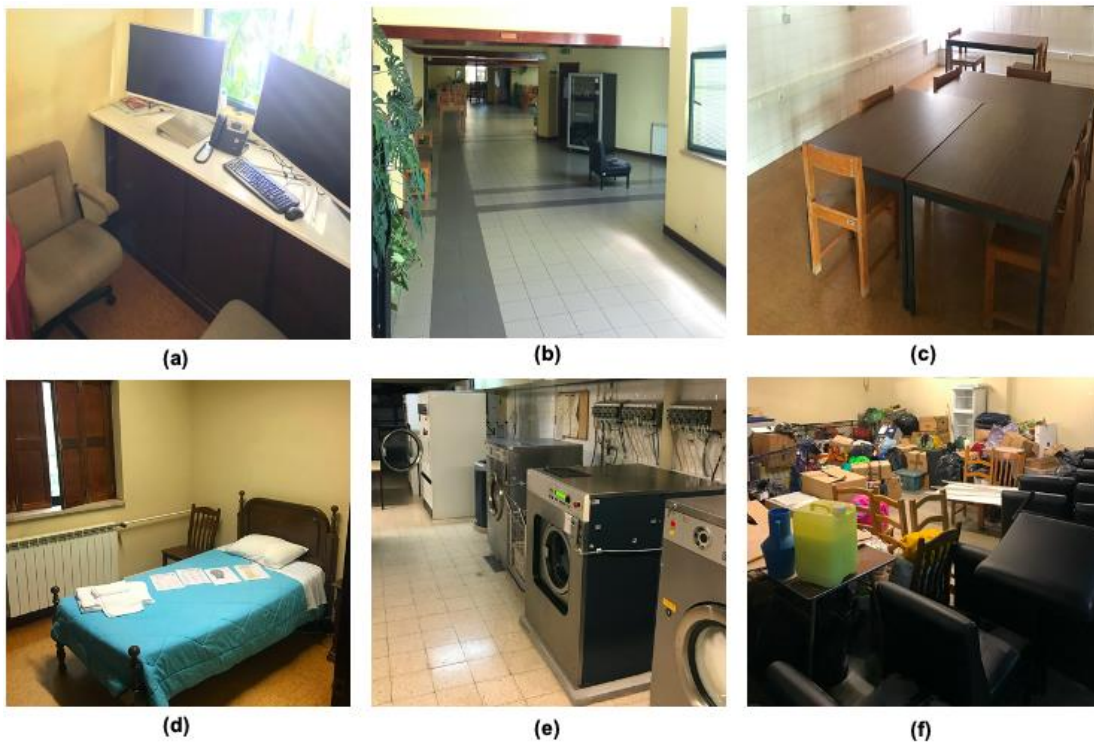


Figura 4.6 - (a) Recepção, (b) Salão de Convívio, (c) Sala de Estudos, (d) Leito Médico, (e) Lavandaria Geral e (f) Armazém.

### **4.2.1 Plano de Análise e Levantamento**

Com acesso as plantas do local, dispondo de informações previamente fornecidas pelo departamento de obras do IPB, foram feitas visitas a Residência Verde com o objetivo de levantar informações úteis restantes para a realização do estudo em questão, nomeadamente as cargas elétricas e térmicas. Realizou-se o levantamento energético, com base na quantidade de lâmpadas, tipo e potência; observou-se a quantidade de equipamentos eletroeletrônicos e seu consumo; o funcionamento do sistema de aquecimento e arrefecimento. Com outras visitas regulares, também foram identificados pontos anômalos na utilização do edifício.

Toda a caracterização do edifício, pode ser observada nas Tabela 0.1 a Tabela 0.5 dispostas nos anexos, e também serão mais aprofundadas nos tópicos que seguem.

### **4.2.2 Zoneamento Climático e do Terreno**

De acordo com a memória descritiva do edifício disponibilizada pelo gabinete de obras, a localização da residência se encontra dentro do terreno do Campus IPB, na margem norte do rio Fervença, sendo caracterizada por um forte pendente de orientação a Sul e limitada a Norte por uma via urbana. As condições de desníveis, obrigaram a construção a ter uma disposição única, onde a configuração dos corpos dos quartos, variam de acordo com o comprimento e aumentam de acordo com o número de pisos, de maneira a acompanhar o declive do terreno. Os corpos dos quartos ficam assim alinhados por sua cota superior e têm número de pisos diferentes conforme as cotas do terreno.

Em detrimento do clima de Bragança, mesmo dispondo de aquecimento central, foi feita a orientação dos quartos (Alas A, B, C e D) a Norte, e dos blocos centrais a orientação Sul a Poente, visto a incidência solar durante todo o dia e sombreamento parcial em certas partes do dia, além de assegurar uma boa ventilação transversal, garantindo também iluminação natural.

Os requisitos energéticos adequados variam de acordo com a região em que se está localizado. Portugal está dividido em três zonas climáticas, vide Figura 4.7, sendo elas I1, I2 e I3 na estação de aquecimento (inverno) e V1, V2 e V3 na estação de arrefecimento (verão), estes números referem-se ao clima da região, ou seja, I1 sendo a região com o clima menos frio entre todos, I2 intermediário e I3 sendo a mais fria.

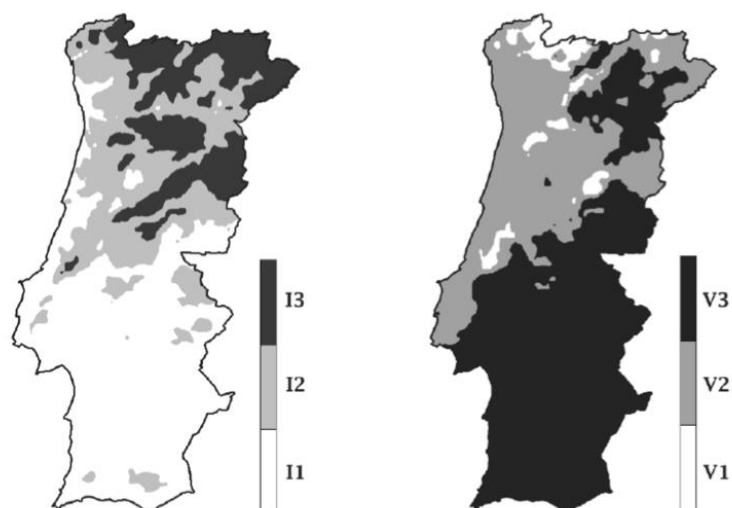


Figura 4.7 - Zonas Climáticas (Inverno e Verão) em Portugal [17].

Bragança está situada na zona I3 e V2, ou seja, deve apresentar um coeficiente de transmissão térmica superficial U ideal na faixa de  $0,35 \text{ W/m}^2\text{°C}$  para inverno, como expresso na Tabela 4.1 para satisfazer os requisitos da zona climática no inverno. No caso do verão as zonas classificadas como V2 tem necessidades de arrefecimento intermediárias, o que condiciona um consumo intermédio energético em relação às necessidades de arrefecimento. Além disso, deve apresentar um fator solar máximo global admissível dos vãos envidraçados na faixa de  $0,56 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , expresso na Tabela 4.2 sendo este fator a energia que penetra no edifício através de radiação solar.

Tabela 4.1 - Requisitos Energéticos  $U_{m\acute{a}x}$  ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ ) por Zona Climática [18].

Zona Climática	I1	I2	I3
Valor do U	0,5	0,4	0,35

Tabela 4.2 - Requisitos Energéticos  $gT_{m\acute{a}x}$  ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ ) por Zona Climática [19].

Zona Climática	V1	V2	V3
Valor do gT	0,56	0,56	0,5

Em regiões mais frias é natural que o valor ideal para U esteja cada vez mais próximo do zero, ou seja, a capacidade de conduzir calor do interior para o exterior deve ser reduzida. Além disso, é importante ressaltar que quanto mais próximo de zero for o valor de U, melhor será o desempenho energético do edifício.

A capacidade de um edifício captar a radiação solar nos períodos com maior necessidade de energia, ou seja, no inverno e de ter menor superfície exposta à

radiação solar quando existe a necessidade de dissipar o calor, ou seja, no verão, é o que determina o conforto térmico do edifício e os respectivos gastos energéticos. O ideal é que ocorra um balanço entre ambas as necessidades, para que então, o edifício seja considerado eficiente do ponto de vista energético, em ambas as estações.

### 4.2.3 Área Útil

A Residência Verde Estudantil é um edifício do tipo desenvolvimento horizontal, tendo uma altura máxima (pontual) inferior a 28 m. Além disso, dispõe de uma área útil (desconsiderando as varandas) aproximada de 3752 m<sup>2</sup>. A área por zona pode ser observada nas Tabela 0.1 a Tabela 0.5, dispostas nos anexos. Já, a área total por ala, pode ser observada na Tabela 4.3, a seguir:

*Tabela 4.3 - Área Útil por Zona.*

<b>Residência Verde</b>	<b>Área (m)</b>
<i>Ala A</i>	661,46
<i>Ala B</i>	687,22
<i>Ala C</i>	686,23
<i>Ala D</i>	613,76
<i>Corpos Centrais</i>	1103,35
<b>TOTAL</b>	<b>3752,02</b>

Na Tabela 4.3 é possível observar que todas as alas têm áreas aproximadas, com exceção da Ala D, que apresenta um piso a menos em relação as outras. Os corpos centrais ocupam a maior parte do edifício, pois além da zona de convívio comum, compreendem enfermaria, lavanderia, caldeira e armazéns.

### 4.2.4 Envolvente Térmica e Envidraçado

Por se tratar de uma construção que já configura aproximadamente vinte anos de existência, algumas informações, ainda que existam, não são facilmente encontradas, visto a indisponibilidade de tecnologias para a retenção de dados. Uma das partes mais importantes quando se fala em eficiência energética, são as características relacionadas à envolvente térmica do edifício, nomeadamente relacionadas as características com as paredes, pisos, coberturas e envidraçados.

As acessibilidades às informações construtivas foram auxiliadas pelo Departamento de Obras do IPB, que forneceu acesso a memória descritiva do edifício. Entretanto, o documento base só fornecia as características dos materiais utilizados para os acabamentos interiores que, em sua maioria, eram: pavimentos em betão, marmorite, porcelanato e pedra calcária, as paredes com azulejo e madeira e os tetos com betão, sendo as tintas de água para todas as áreas. Já para os exteriores, utilizou-se em suma ladrilho cerâmico tipo cinca para as paredes, betão pintado para os pilares das varandas e cimento afagado para a parte em contato com o solo. Apesar de grande valia, as informações disponibilizadas pela memória construtiva eram insuficientes para o estudo em questão, visto a necessidade dos materiais construtivos utilizados para a composição do edifício.

Desta maneira, através de pesquisas relativas a construções típicas de Portugal, e considerando os efeitos posteriores de simulação, expressos no Capítulo 5.2, optou-se por utilizar [18] como referencial base, expresso na Figura 4.8.

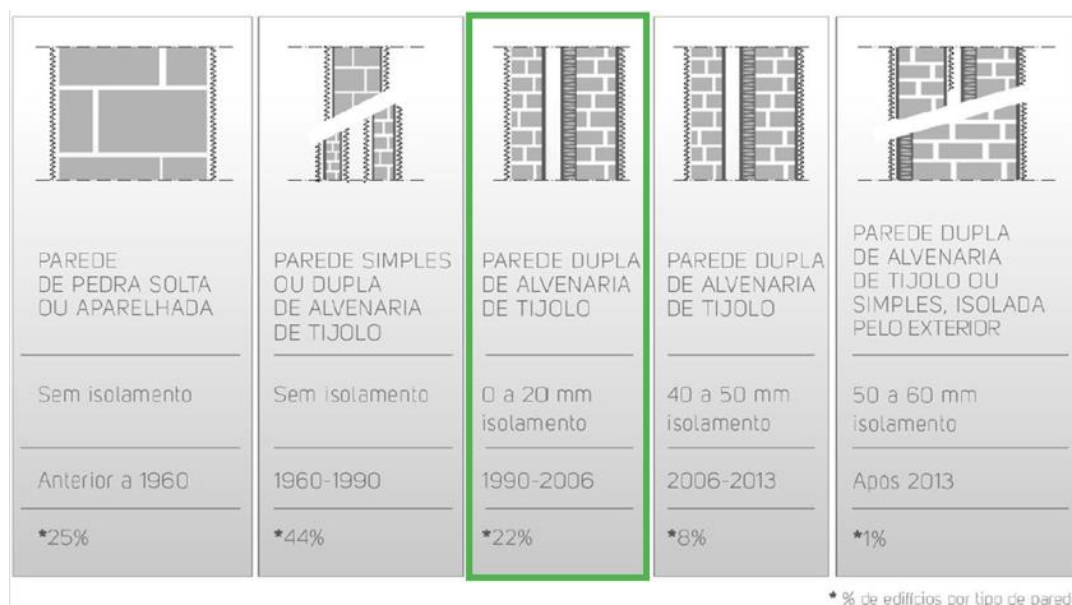


Figura 4.8 - Tipos de Paredes em Construções Típicas de Portugal ao longo dos anos [18].

Expresso na imagem acima, destacado em verde, observa-se que para satisfazer o eventual ano de inauguração da construção, selecionou-se a parede dupla de alvenaria de tijolo, com o objetivo de aproximar-se da realidade e satisfazendo assim as necessidades da simulação, e seleciona-se o isolamento das paredes de 0mm, pois o mesmo é nulo, o que justifica depois, os resultados obtidos através das simulações no Capítulo 5.

Além disso, é importante se ter em conta que apesar de não apresentar isolamento nas paredes, o quanto este deveria ter de espessura para cumprir os requisitos impostos pela legislação e também de acordo com a zona climática. Como visto anteriormente, Bragança ocupa a zona climática I3 e, portanto, como falamos de uma construção do ano de 1993, caso existisse isolamento térmico nas paredes, o mesmo deveria ter aproximadamente entre 6 e 8 cm, como indicado na Tabela 4.4.

*Tabela 4.4 - Espessura Mínima (cm) de Isolamento Térmico [18].*

<b>Zona Climática</b>	<i>Parede de Alvenaria de Pedra (&lt;1960) - 22% dos Edifícios</i>	<i>Parede de Tijolo Simples (1960-1980) - 36% dos Edifícios</i>	<i>Parede de Tijolo Dupla (1980-1995) - 42% dos Edifícios</i>	<i>Edifícios Situados por Zona Climática</i>
<b>I1</b>	5 a 7 cm	4 a 5 cm	3 a 4 cm	58%
<b>I2</b>	7 a 9 cm	6 a 7 cm	5 a 6 cm	34%
<b>I3</b>	8 a 10 cm	7 a 9 cm	6 a 8 cm	8%

Vale ressaltar, que em construções mais recentes a espessura mínima exigida é menor, se comparada com construções mais antigas. Isso se deve, pois, os materiais atuais tem uma capacidade de isolamento maior do que os materiais mais antigos.

Analogamente, para a cobertura utilizou-se os mesmos princípios citados anteriormente citados, tendo como referencial base [20] e documentação prévia, chegou-se ao acabamento exterior da cobertura em guarda de ferro pintado esmaltado, e relativo a Figura 4.9, desconsidera-se a inclinação apresentada, que como observado na Figura 4.10, que representa a realidade, é quase inexistente, sendo dispensável na posterior simulação, pelo não impacto direto nas informações resultantes finais.



Figura 4.9 - Tipos de Coberturas em Construções Típicas de Portugal ao longo dos anos [20].

Expresso na imagem acima, destacado em verde, observa-se que para satisfazer o eventual ano de inauguração da construção, opta-se pela cobertura em desvão com estrutura de betão – desconsiderando a inclinação, como previamente mencionado – com o objetivo de aproximar-se da realidade e satisfazendo assim as necessidades da simulação.



Figura 4.10 - Cobertura da Residência Verde Estudantil.

Os vãos envidraçados do edifício são compostos por vidros duplos incolores 4 a 8mm + Incolor 4 mm com incidência solar normal na faixa de 0,78 W/m<sup>2</sup>°C, vide Anexo, onde se apresentam o mapa de portas e janelas, bem como suas dimensões, tipos de folhas e materiais.



Figura 4.11 - Caracterização Vidros Duplos [21].

É importante ressaltar que o vidro duplo oferece certas vantagens, em relação ao vidro simples, das quais destaca-se, além dos expressos na Figura 4.11:

- a. Conforto Térmico e Baixo Consumo Energético;
- b. Conforto Acústico;
- c. Maior Durabilidade;
- d. Maior Preservação de Móveis e Tecidos [22].

#### 4.2.5 Ocupação

Levando em consideração o ano de 2019, onde a residência foi ocupada aproximadamente por 200 estudantes, com hábitos e horários completamente distintos, considera-se então todos os ocupantes estudantes executando atividades durante 24 horas, de segunda a domingo.

Além disso, há o corpo de trabalhadores no local, para limpeza, fiscalização, manutenção, além de uma ala destinada à enfermaria, com a presença de enfermeiras e médicos.

É importante ressaltar que quando se estuda a ocupação de um edifício de serviços, várias variáveis entram em questão, porém há sempre um erro associado, visto que se trata de uma média para a ocupação dentre os espaços existentes, com ocupantes e trabalhadores com hábitos não fixos.

Portanto, para efeitos de simulação, considera-se 200 ocupantes fixos executando atividades por 24 horas, e outros ocupantes flexíveis, sendo estimado um total de 20 funcionários executando atividades durante os horários de serviço (9:00h-18:00h). Sendo assim, verificasse que a densidade média ocupacional do edifício é de aproximadamente 0,0582 pessoa/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.6 Iluminação

A iluminação do edifício em estudo apresenta diferentes tipos de lâmpadas e potências, que em resumo são lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W e 36 W que ocupando a maior parcela da residência, estando estas presentes nos quartos de todas as alas e nos corpos centrais. Nos corredores e arrumos, a grande maioria são lâmpadas halogenas, enquanto que nos banheiros estão presentes lâmpadas de LED.

Todo o levantamento elétrico, bem como a densidade luminosa em cada zona pode ser observado nas Tabela 0.1 a Tabela 0.5, referidas nos anexos e também estatisticamente expressas pelos gráficos da Figura 4.12 e da Figura 4.13, levando em consideração o tipo de lâmpada presente em toda construção, bem como a potência consumida por cada uma delas.

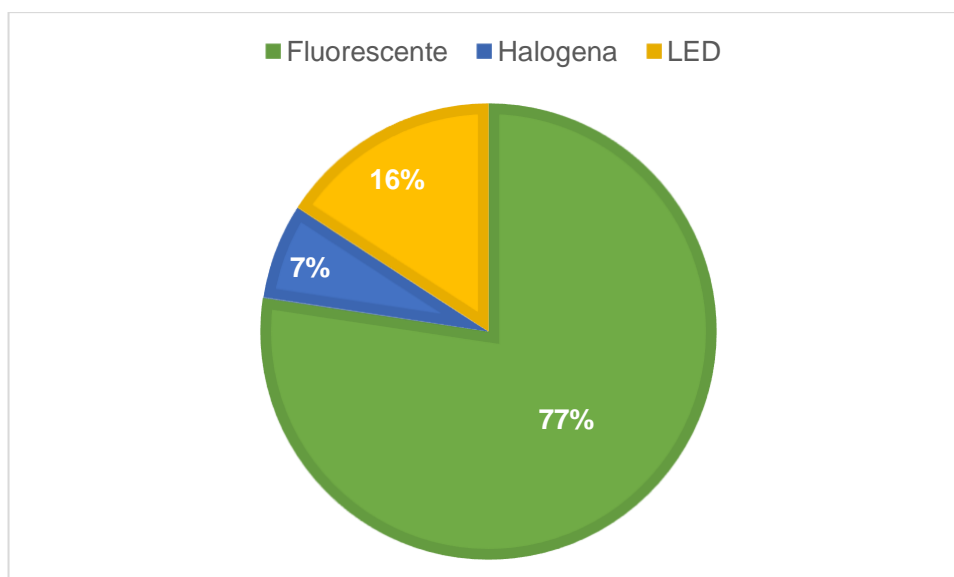


Figura 4.12 - Percentagem de Lâmpadas por Tipo.

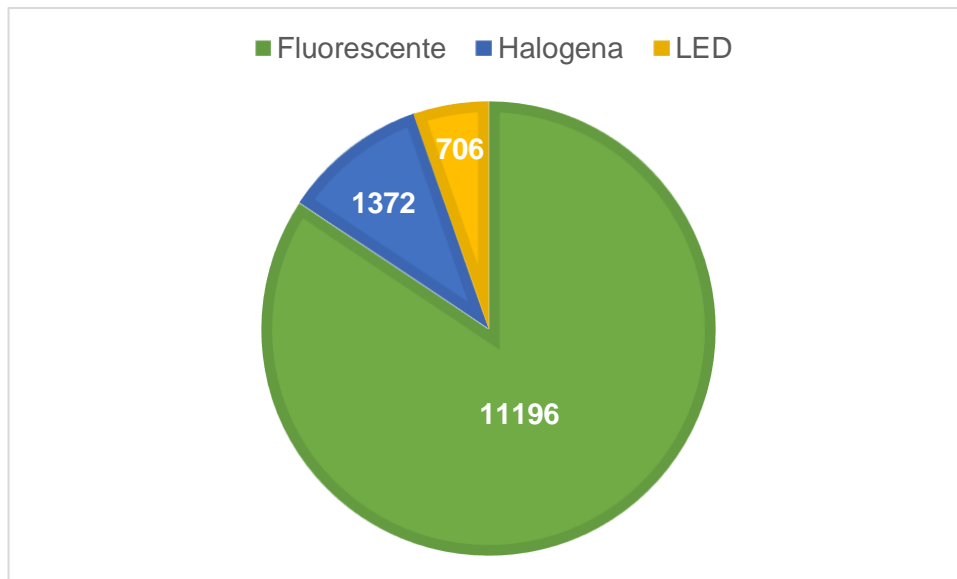


Figura 4.13 - Potência Total por Tipo de Lâmpada, expressa em W.

As Figura 4.12 e Figura 4.13, numericamente representam um total de 455 lâmpadas fluorescentes, 93 lâmpadas de LED, 40 lâmpadas halogenas e 1 lâmpada incandescente (não representada graficamente), totalizando 589 lâmpadas em utilização na construção. Já a potência total das lâmpadas é de 13,3 kW.

O recolhimento destas informações é de grande valia para a criação do modelo, pois permite a criação de perfis por zoneamento, de modo que a simulação computacional seja apresentada de forma mais realista possível, resultados esses que poderão ser vistos no Capítulo 5.

#### **4.2.7 Consumos Globais de Energia e Emissões de Dióxido de Carbono Equivalentes (CO<sub>2e</sub>) Associados**

O edifício em análise utiliza energia elétrica, em praticamente todos os setores e equipamentos, e gás natural no aquecimento do ambiente. Os consumos globais de energia elétrica, com base nos dados de faturas mensais de 2019, foram calculados tendo em vista o esquemático de distribuição de energia pelo Posto de Transformação (PT ESA2), representado abaixo pela Figura 4.14.

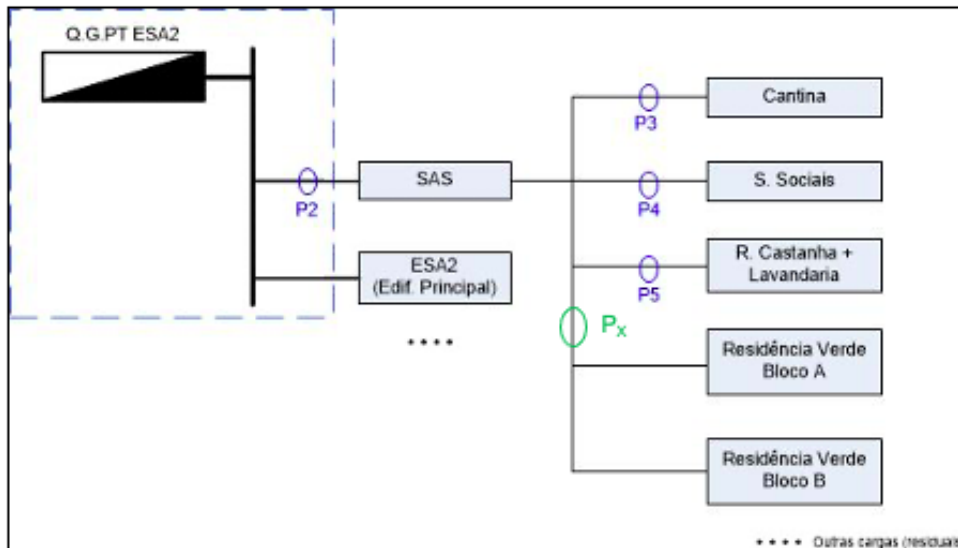


Figura 4.14 - Distribuição de Energia Residência Verde, adaptado.

Uma vez que não existem contratos de fornecimento de eletricidade e de gás natural, os consumos, do edifício em estudo, foram obtidos por estimativas a partir dos valores disponíveis obtidos pelos contadores parciais instalados pelos serviços de manutenção do IPB.

Para os cálculos da Energia Ativa Consumida pela Residência Verde (Bloco A + Bloco B), representado por  $P_x$  que engloba todos os Blocos Centrais e Alas (A, B, C e D), vide plantas do Anexo é feito de acordo com a Equação 4.1.

$$P_x = P_2 - (P_3 + P_4 + P_5) \quad (4.1)$$

Os valores obtidos através da ferramenta de cálculo Excel, podem ser vistos na Tabela 4.5 abaixo, e posteriormente indicado pelo gráfico na Figura 4.15.

Tabela 4.5 - Energia Ativa Consumida Mensalmente no ano de 2019, em kWh.

	SAS	CANTINA	SERVIÇOS SOCIAIS	R. CASTANHA + LAVANDERIA	RESIDÊNCIA VERDE (BLOCO A + BLOCO B)
<b>Meses</b>	<b>Energia Ativa Consumida (kWh) no ano de 2019</b>				
<b>Janeiro</b>	43450	23170	2160	9340	8780
<b>Fevereiro</b>	38000	20130	1970	8480	7420
<b>Março</b>	40110	21080	1980	8930	8120
<b>Abril</b>	33080	17000	1890	7450	6740
<b>Mai</b>	39840	21980	2040	8430	7390
<b>Junho</b>	36860	19920	1870	8050	7020
<b>Julho</b>	30970	18090	2580	6040	4260
<b>Agosto</b>	10160	4340	1820	2480	1520
<b>Setembro</b>	31530	19520	1880	5170	4960
<b>Outubro</b>	40300	21620	2220	8870	7590
<b>Novembro</b>	39290	20620	2160	8510	8000
<b>Dezembro</b>	36030	19100	2150	7650	7130
<b>TOTAL</b>	<b>419620</b>	<b>226570</b>	<b>24720</b>	<b>89400</b>	<b>78930</b>

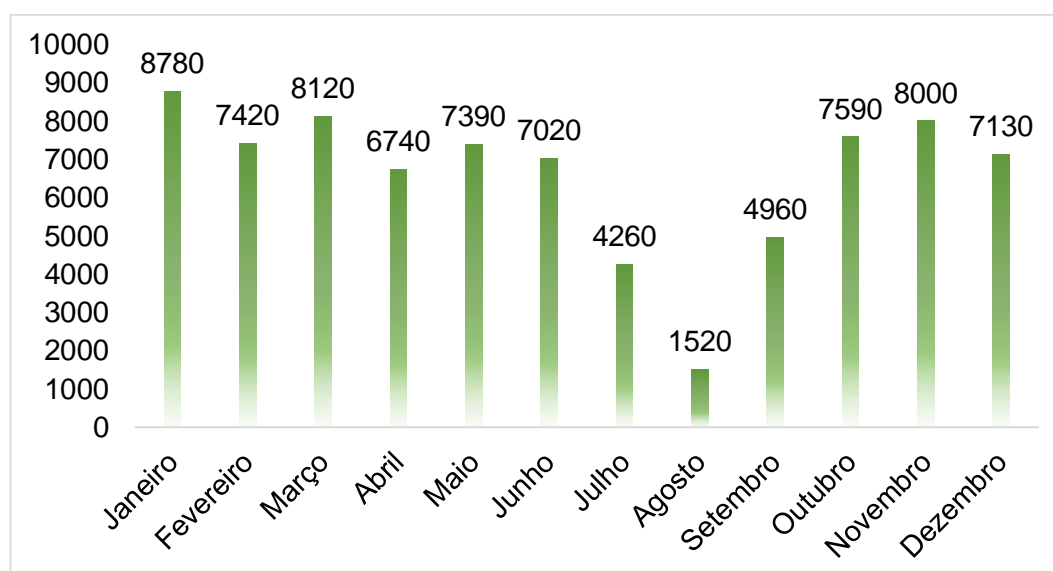


Figura 4.15 - Energia Ativa Consumida na Residência Verde em kWh no ano de 2019.

Os consumos elétricos expressos na Figura 4.15 são maiores nos meses de inverno (dezembro-março) e quase nulos no mês de recesso (agosto), que também coincide com o verão.

Para o consumo de gás natural, com base nos dados das medições parciais mensais de 2017, foram calculados os consumos tendo em vista o esquemático de distribuição, representado pela Figura 4.16.

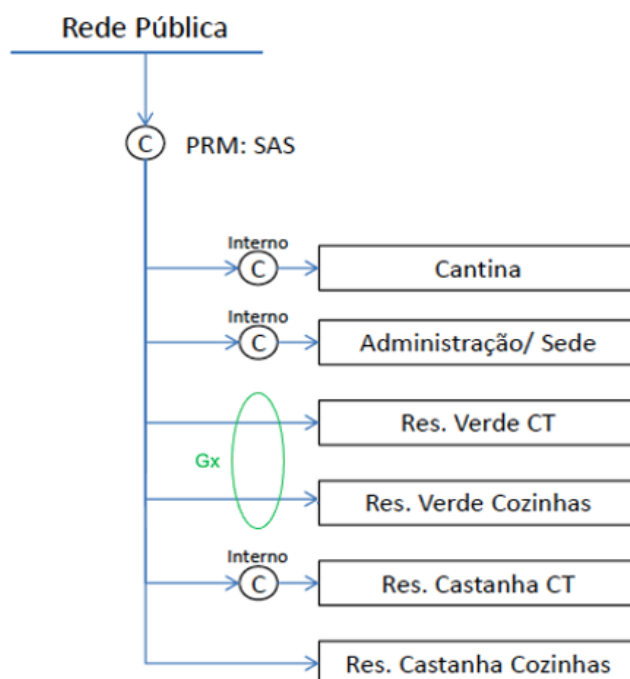


Figura 4.16 - Distribuição de Gás Natural na Residência Verde CT (Corpos Centrais e Alas A, B, C e D) e Cozinhas (Alas A, B, C e D), adaptado.

De forma análoga ao consumo de energia elétrica, calcula-se o consumo de gás natural da Residência Verde, representado por  $G_x$ , de acordo com a Equação 4.2.

$$G_x = (\text{Consumo Geral SAS}) - (\text{Cantina} + \text{Adm} + \text{Res. Castanha}) \quad (4.2)$$

Em contraponto, com o objetivo de utilizar o mesmo ano de referência para eventuais análises, foi feito uma estimativa de acordo com as características explicitadas no Histórico Homólogo Corrigido pela Galp, considerando a residência estudantil como Cliente Tipo B (cliente com hábito de consumo estáveis), e com as estimativas sendo calculadas a partir do ano anterior ao período homólogo, onde não há aumento nem redução no número de moradores, e nem alteração na utilização de equipamentos (aquecimento central, mudança de fogão, etc.) [23]. Para o cálculo do consumo, em kWh, considera-se um dos consumos faturadas da SAS\_Pousada, onde têm-se o consumo mensal de 63 m<sup>3</sup> para um total de 736Wh, obtendo-se então um coeficiente de conversão aproximado de 11,7 Wh/m<sup>3</sup>, que será utilizado para conversão de todos os valores de consumo referidos aos anos de 2017-2018-2019. Os valores de consumo descritos podem ser vistos nas Tabela 4.6 a 4.8, com uma aproximação de

duas casas decimais. Além disso, é importante ressaltar que alguns dos valores apresentados resultam em estimativas de consumo.

*Tabela 4.6 - Consumo Gás Natural no ano de 2017, em kWh.*

	<b>Mês</b>	<b>Consumo Faturado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
<b>2017</b>	Janeiro	8793	102880
	Fevereiro	7546	88290
	Março	7243	84740
	Abril	3457	40450
	Maio	3329	38950
	Junho	2322	27170
	Julho	1223	14310
	Agosto	14	160
	Setembro	1576	18440
	Outubro	2683	31390
	Novembro	5091	59560
	Dezembro	5808	67950
	<b>TOTAL</b>	<b>49085</b>	<b>574290</b>

*Tabela 4.7 - Consumo de Gás Natural no ano de 2018, em kWh*

	<b>Mês</b>	<b>Consumo Faturado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo Estimado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Coefficiente Estimado</b>
<b>2018</b>	Janeiro	7095		83010	1,01
	Fevereiro	5830		68210	
	Março		7309	85520	
	Abril	6204		72590	
	Maio	4208		49230	
	Junho		2343	27420	
	Julho		1234	1444	
	Agosto		14	170	
	Setembro		1590	18610	
	Outubro		2708	31680	
	Novembro		5138	60110	
	Dezembro		5861	68580	
	<b>TOTAL</b>		<b>49535</b>	<b>579560</b>	

Tabela 4.8 - Consumo de Gás Natural no ano de 2019, em kWh.

	Mês	Consumo Faturado (m <sup>3</sup> )	Consumo Estimado (m <sup>3</sup> )	Consumo (MWh)	Coefficiente Estimado
2019	Janeiro		9024	105010	1,18
	Fevereiro		7415	86290	
	Março		9297	108180	
	Abril	4072		51160	
	Maio		5352	62280	
	Junho		2980	34680	
	Julho		1570	18270	
	Agosto		18	200	
	Setembro		2023	23540	
	Outubro		3444	40070	
	Novembro		6534	76030	
	Dezembro		7455	86750	
	<b>TOTAL</b>			<b>59184</b>	

Nas Tabela 4.7 e Tabela 4.8 o coeficiente estimado foi calculado tendo em conta o consumo faturado do ano anterior, relativo aos meses de consumo faturado do ano em questão, desta forma com um coeficiente de aumento ou diminuição fixo de consumo, é possível estimar o consumo dos meses em que não se apresentava dados faturados. Considera-se a Tabela 4.8 como a de principal interesse, visto que, há padronização do ano de 2019 para efeitos de estudo, sendo assim, da mesma forma que os consumos elétricos, os de gás natural são expressos graficamente na Figura 4.17.

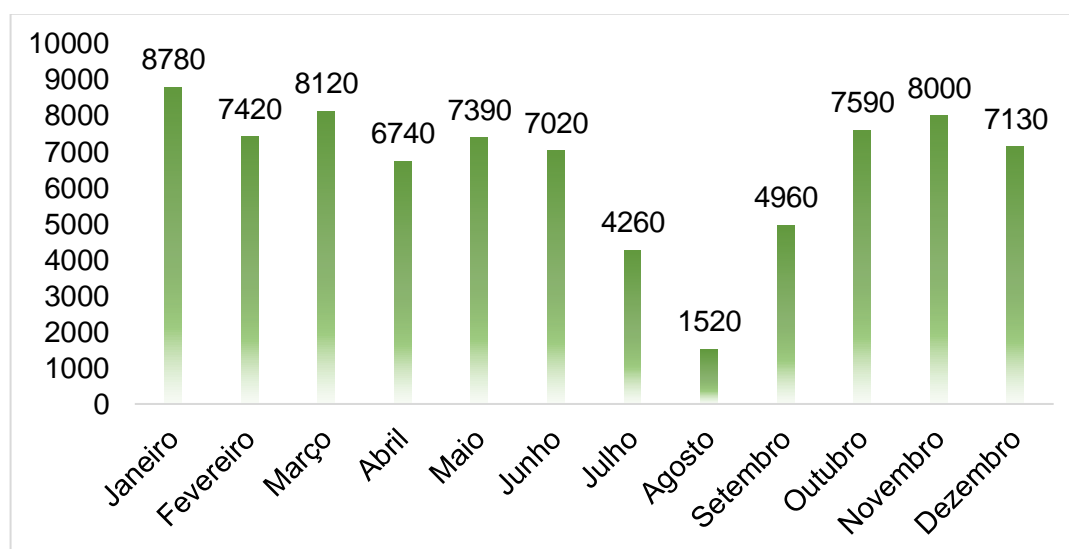


Figura 4.17 - Consumo de Gás Natural Residência Verde em kWh no ano de 2019.

Os consumos de gás expressos na Figura 4.17 são maiores nos meses de inverno (dezembro-março) e quase nulos no mês de recesso (agosto), que também coincide com o verão.

Com a obtenção do consumo da energia elétrica e de gás natural presentes na fatura é possível determinar as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>) equivalentes do edifício. Para isso é necessário efetuar a conversão da energia final comprada de ambos os parâmetros em energia primária, utilizando os fatores de conversão presentes na legislação portuguesa. Os fatores de conversão entre energia final e energia primária, são de 2.5 kWh<sub>EP</sub>/kWh, para eletricidade independente da origem, e de 1 kWh<sub>EP</sub>/kWh para todos os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis [24]. Os fatores de conversão apresentados na Tabela 4.9 são utilizados para determinar as emissões de dióxido de carbono referentes ao consumo de energia (eletricidade e gás natural), e são utilizados após a conversão de energia final para energia.

Tabela 4.9 - Fatores de Conversão de Emissões de Dióxido de Carbono [24].

Fonte de Energia	Fator de conversão (kgCO <sub>2e</sub> /kWh <sub>EP</sub> )
Eletricidade	0,144
Gás Óleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL Padronizado (Propano)	0,170
GPL Garrafas	0,170
Renováveis	0

O ano que será analisado será o ano de 2019, e as fontes de energia descritas pela Tabela 4.9 que serão utilizadas será a eletricidade e o gás natural, com fatores de conversão de 0,144 e 0,202, respectivamente. Os resultados da conversão em energia primária, bem como as emissões de CO<sub>2</sub> associados, podem ser vistos na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Emissões de Dióxido de Carbono Calculados, em toneladas

Ano	Energia Primária			Emissões de Dióxido de Carbono (tonCO <sub>2e</sub> )
	Eletricidade (kWh <sub>EP</sub> )	Gás Natural (kWh <sub>EP</sub> )	Total (kWh <sub>EP</sub> )	
2019	197325	692450	889775	196,9

As emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos consumos energéticos serão de 196,9 tonCO<sub>2e</sub> aproximadamente. Analisando os valores da Tabela 4.10 e os consumos globais é possível concluir que a contribuição do consumo de gás natural é muito maior do que os consumos de eletricidade, neste caso.

#### 4.2.8 Tipos de Equipamentos e Tempo de Utilização

Apesar das cargas referentes à iluminação terem uma forte influência nos consumos energéticos, estas não constituem a totalidade dos consumos energéticos do edifício. Equipamentos como computadores, impressoras, geladeiras, micro-ondas, máquinas de lavar e secar, entre outros são essenciais para o funcionamento da residência verde. Deste modo, efetuou-se um levantamento dos principais equipamentos elétricos, onde não foram incluídas as especificações de cada equipamento, visto a não padronização da utilização dos mesmos entre as diferentes zonas que compõe a construção. De certo modo, adotou-se uma potência média e bibliotecas previamente fornecidas pelo programa *DesignBuilder* para efeitos de simulação. Levando em consideração que:

- a. As alas A, B, C e D dispõem de dois refrigeradores (potência em torno de 500W), ligados durante todo dia, e um micro-ondas (potência 700W), ambos situados na parte da cozinha em todos os pisos;
- b. Nas áreas comuns utilizam-se dois computadores desktops na recepção (potência média em torno de 160W), máquina de comida e café (375W) ligados durante todo dia, uma televisão (200W), além de uma máquina de lavar e secar para uso dos alunos, de uso periódico;
- c. Na lavanderia há três máquinas de lavar, duas máquinas de secar e 3 calandras elétricas;
- d. No gabinete clínico, há a presença de um micro-ondas (700W), uma torradeira (700W) e um frigobar;
- e. Para efeitos de simulação, também se considera a utilização de um notebook (aproximadamente 65W) por pessoa;

Vale ressaltar, que por se tratar de um ambiente com um grande fluxo de pessoas com hábitos instáveis de consumo, se torna difícil estimar com precisão como ocorre a utilização dos equipamentos que consomem energia elétrica, portanto, com base em estudos prévios e utilizando uma ferramenta computacional, é possível mapear

estes hábitos de forma a satisfazer os resultados finais posteriores obtidos pela simulação, para maior adequação a realidade.

#### 4.2.9 Eficiência Térmica e Climatização

A climatização do edifício é feita através de uma caldeira a gás natural além de 4 painéis solares termodinâmicos responsáveis por aquecer a água sanitária, dispostos nas Figura 4.18 e Figura 4.19.

O aquecimento é garantido por duas caldeiras com queimadores das marcas *Thermomec* e *Lamborghini Calor* com queimadores M3/H 15-31 e uma potência térmica máxima de saída de 308 kW e 238 kW, respectivamente, alimentadas a gás natural. Já o sistema solar termodinâmico, tem como principais elementos os quatro painéis da marca *Energie*, compressor, dois reservatórios e um recipiente da marca *Cordivari* com capacidade para 1000 litros para ambos, funcionando com base num ciclo de compressão/descompressão [25].



Figura 4.18 – Caldeiras.



Figura 4.19 - Painéis Solares Termodinâmicos.

#### 4.2.10 Indicador de Eficiência Energética do Edifício

Para a determinação do Indicador de Eficiência Energética (IEE) utilizou-se os métodos explicados no Capítulo 3. Os valores encontrados para o ano de 2019, durante o período de 12 meses, podem ser vistos na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Indicador de Eficiência Energética do Edifício.

Ano	Área Útil (m <sup>2</sup> )	Energia Primária			IEE <sub>EF</sub> (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)
		Eletricidade (kWh <sub>EP</sub> )	Gás Natural (kWh <sub>EP</sub> )	Total (kWh <sub>EP</sub> )	
2019	3752	197325	692450	889775	237,15

Pelos cálculos obteve-se um indicador de 237,15 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano em 2019. Utilizando estes valores de IEE<sub>EF</sub> calculados, em associação com os dados que serão obtidos na simulação dinâmica multizona, presente no próximo capítulo, é possível determinar a classe energética do edifício, mostrada em 5.4.

#### 4.2.11 Patologias

O desenvolvimento de fungos em construções é uma patologia de ocorrência muito comum e indica que a temperatura da superfície está muito baixa e que a

humidade relativa do ar está muito alta, ocasionalmente uma das principais causas do aparecimento destas anomalias são infiltrações e pouca circulação de ar.

A superfície do elemento em que o fungo se prolifera, afeta visualmente a aparência do mesmo, e, portanto, causa desconforto aos usuários. Desta maneira, a humidade relativa no espaço interno acaba afetando a saúde dos usuários do local. Estes riscos incluem doenças como micoses e alergias, além de doenças respiratórias [26].

Na Figura 4.20 é possível observar alguns exemplos de fungos e infiltrações presentes na residência verde e nas Tabelas 0.6 aTabela 0.9, presentes nos anexos, é possível observar como estas anomalias se distribuem pelo edifício.



*Figura 4.20 - Fungos e Infiltrações presentes em Paredes, Pisos e Tetos.*

Para um ambiente satisfazer as condições ideais para o não surgimento destas patologias, é necessário levar em conta os seguintes fatores:

- a. Humidade Relativa;
- b. Temperatura Interior;
- c. Ventilação;
- d. Produção de Vapor de Água;
- e. Condições Exteriores [26].

É interessante notar que a área mais afetada por estas anomalias, piso -2 da Ala A, é justamente, a área menos utilizada do prédio, com menor ventilação e pouco ganho solar, além de um maior contato com a zona onde se localiza a lavanderia, o que pode justificar a produção de vapores de água, provenientes da caldeira e reservatórios.

É importante destacar, que para a simulação, o conforto térmico tem uma análise extremamente complexa devido ao elevado número e diversidade de parâmetros que o

influenciam, sendo um destes parâmetros as anomalias citadas previamente. Com levantamentos de campo e métodos matemáticos aplicáveis, como, por exemplo, ASHRAE 55, é possível estipular formas de incluí-los na simulação dinâmica ou ao menos interpretá-los de maneira satisfatória de acordo com os resultados obtidos.

Como o foco do trabalho foge desta complexidade, as anomalias só serão expressas de forma a qualificar o edifício, enquanto os consumos (elétricos e de gás natural) quantificarão e qualificarão todo o resto.

## 5 Simulação Dinâmica Multizona

Nos tópicos a seguir serão apresentados a construção do modelo em software, bem como a inserção de todo o escopo característico descrito no capítulo anterior, de forma a obter resultados passíveis de análise e comparações que posteriormente serão responsáveis pela validação e classificação do modelo como satisfatório.

### 5.1 Modelo Computacional

O modelo computacional é uma das partes primordiais do processo de simulação dinâmica. Com acesso as plantas disponibilizadas em .dwg, extensão do software *AutoCAD*, criou-se o modelo bidimensional, logo exportada para o formato .dxf E posteriormente importada para o *DesignBuilder*, capaz de criar a representação 3D do modelo. A representação ilustrativa tridimensional das vistas axonométricas e laterais da Residência Verde Estudantil, podem ser observadas na Figura 5.1.

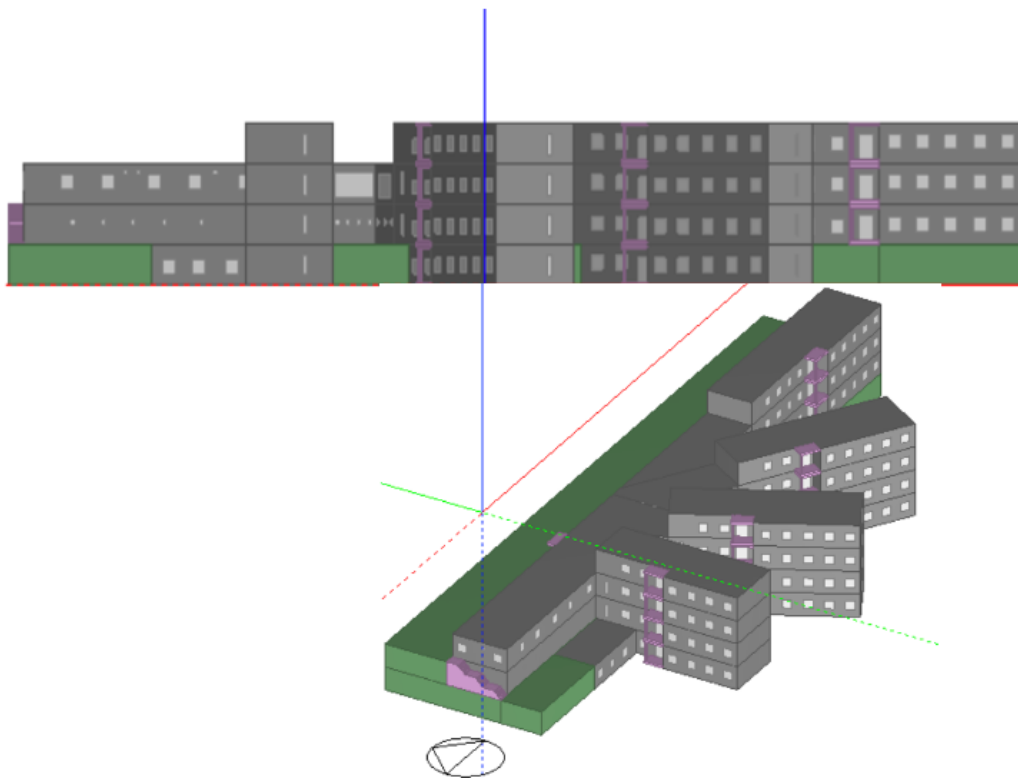


Figura 5.1 - Representação Tridimensional Lateral e Axonométrica da Residência Verde Estudantil.

A paleta de cores do *DesignBuilder* tem fator característico no modelo, onde o cinza é indicativo dos blocos construtivos, responsáveis pelos elementos de construção; o verde e rosa são usados para gerar estruturas visuais e de sombreamento, além de edifícios vizinhos ou blocos em contato com o solo. [15]

Outra ferramenta importante disponibilizada pelo *DesignBuilder*, é o diagrama solar, representado pela Figura 5.2 – hora e data meramente ilustrativos – capaz de analisar o impacto do sombreamento causado pelo edifício e seus adjacentes, que não só afetam diretamente a aquisição de luz solar, tendo impacto determinante nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como sendo responsáveis pelo surgimento de anomalias, provocadas pela pouca entrada de luz em certas áreas.

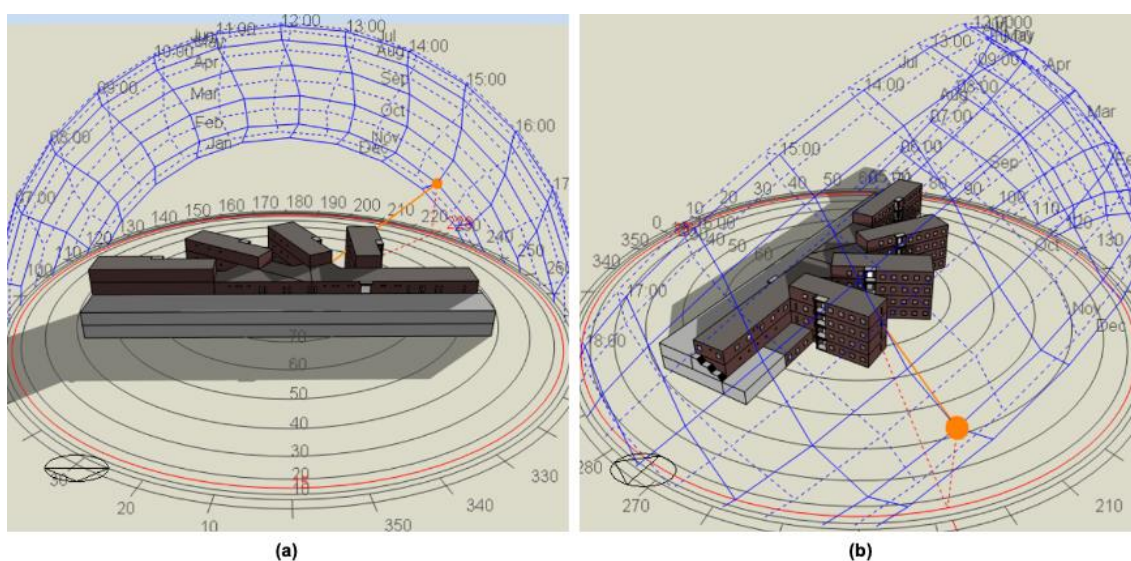


Figura 5.2 – Diagrama Solar sobre (a) Visão Frontal e (b) Visão Periférica.

Além disso, a resistência térmica das paredes, pavimentos intermédios e coberturas e o valor U, que podem ser visualizados nas Figura 5.3 a Figura 5.5 são de grande importância na validação do modelo, e como citado no tópico 4.2.4, foram estimados de acordo com uma padronização de construções típicas portuguesas, visto a inviabilidade de informações construtivas do edifício.

	<b>Outer surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 2,152 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,540 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,130
	<b>Inner surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 19,870 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,130 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,040
	<b>No Bridging</b> U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 3,453 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 0,460 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 2,176</b>
	<b>With Bridging (BS EN ISO 6946)</b> Thickness (m) 0,2130 Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K) 145,6200 Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 0,460 Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 0,460 U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 3,453 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 0,460 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 2,176</b>

Figura 5.3 - Composição e Resistência Térmica das Paredes.

	<b>Inner surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 4,460 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,540 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,100
	<b>Outer surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 0,342 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,540 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,170
	<b>No Bridging</b> U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 14,000 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 0,341 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 2,929</b>
	<b>With Bridging (BS EN ISO 6946)</b> Thickness (m) 0,1000 Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K) 88,2000 Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 0,341 Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 0,341 U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 14,000 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 0,341 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 2,929</b>

Figura 5.4 - Composição e Resistência Térmica dos Pavimentos Intermédios.

	<b>Outer surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 4,460 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,540 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,100
	<b>Inner surface</b> Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 19,870 Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K) 5,130 Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W) 0,040
	<b>No Bridging</b> U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 0,364 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 2,886 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 0,346</b>
	<b>With Bridging (BS EN ISO 6946)</b> Thickness (m) 0,3230 Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K) 32,6144 Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 2,886 Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W) 2,886 U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K) 0,364 R-Value (m <sup>2</sup> -K/W) 2,886 <b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K) 0,346</b>

Figura 5.5 - Composição e Resistência Térmica das Coberturas.

Pelas Figura 5.3 a Figura 5.5, a composição das paredes na simulação é feita com duas camadas de tijolo com 100 mm sem isolamento com um valor de transmissão

térmica U de  $2,176 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (o valor de temperatura de Kelvin para Celsius não interfere no valor final). Os pavimentos intermédios são simulados em concreto de 100 mm com um valor de transmissão térmica U de  $2,929 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . A cobertura do edifício foi modelada como uma laje de concreto de 100 mm, uma camada impermeabilizante de asfalto, um vão de ar e acabamento simples de placas de gesso com um valor de transmissão térmica U de  $0,346 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

É interessante notar que os valores de U definidos pelo *DesignBuilder* tem um desvio já esperado, daqueles indicados pela Tabela 4.1, visto a falta de isolamento térmico na envolvente do edifício, o que condiciona valores elevados para o coeficiente de transmissão térmica U. Apesar dessa grande diferença, ela pode ser explorada de forma a propor melhorias na envolvente térmica, sendo uma das formas, na requalificação dos vãos envidraçados, que já foi realizada em anos anteriores.

Os vãos envidraçados do edifício foram modelados pela inserção de vidros duplos incolores de 4 mm e seguiram as dimensões e disposições impostas pelas plantas, presentes nos anexos.

A respeito do sistema de iluminação interna, este foi modelado de acordo com o levantamento de dados de campo, presentes no capítulo anterior e pelas Tabela 0.1 a Tabela 0.5 dos anexos. É necessário traçar um perfil de utilização destes sistemas, sendo este calculado pelo *DesignBuilder*, da qual configura o mesmo através de modelos prévios de acordo com a zona e seu tipo de utilização.

Por fim, modela-se o sistema de aquecimento do edifício, que como previamente mencionado é composto por duas caldeiras a gás natural com as especificações descritas no tópico 4.2.9. O rendimento médio utilizado para a caldeira foi de 75% do rendimento total, um valor comum para esse tipo de equipamento, considerando também o tempo de utilização do mesmo. O *DesignBuilder*, pelo modelo matemático presente no software, consegue ajustar uma potência adequada para o sistema de aquecimento, de acordo com as necessidades do edifício, analisando todas as características nele presente. Neste caso, a potência necessária estimada pelo software foi de 309 kW. No tópico 4.2.9, verifica-se que uma das caldeiras opera no limite da potência, enquanto a outra opera com 23% a menos da potência necessária. Entretanto, como é um sistema que opera de forma conjunta, este satisfaz a necessidade expressa pela simulação.

## 5.2 Ajuste Característico e Análise Comparativa dos Resultados

De forma a desenvolver o presente trabalho foi necessário efetuar a calibração de alguns parâmetros de funcionamento do modelo, de forma a cumprir os 10% de diferenciação dos consumos. Como citado previamente, foi realizado um levantamento de dados em campo, dados esses essenciais para a simulação.

As grandezas avaliadas através da calibração do modelo são os consumos globais de energia elétrica e gás natural, utilizando 2019 como ano de referência, sendo estes comparados com as estimativas realizadas através do software. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 e nas Figura 5.6 e Figura 5.7 com aproximações decimais.

*Tabela 5.1 - Consumos Faturados e Simulados de Energia Elétrica, em kWh.*

Meses	Consumo Elétrico	
	Consumo Simulado (kWh)	Consumo Faturado (kWh)
Janeiro	6712	8780
Fevereiro	6246	7420
Março	6331	8120
Abril	7464	6740
Maiο	7938	7390
Junho	7083	7020
Julho	7094	4260
Agosto	2845	1520
Setembro	7273	4960
Outubro	7094	7590
Novembro	7982	8000
Dezembro	6657	7130
<b>Total</b>	80720	78930

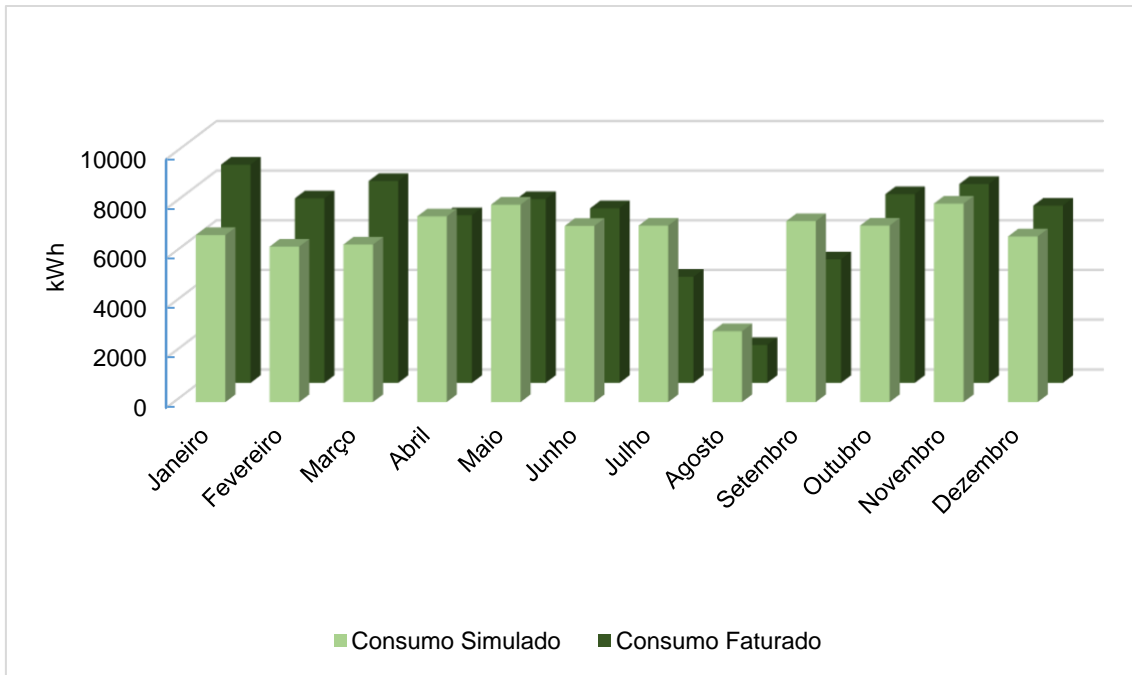


Figura 5.6 - Comparação de Consumos Faturados e Simulados de Energia Elétrica, em kWh.

Analisando os valores totais de consumo energia elétrica observa-se um erro de aproximadamente 2,27% entre os valores faturados e os valores obtidos por simulação, é interessante notar que graficamente, os consumos apesar de terem divergências referenciadas a alguns meses específicos, apresentam o comportamento similar, sendo o mês de agosto, o de menor consumo, prontamente por ser férias, o que condiciona a eliminação quase total do uso do edifício, enquanto nos outros meses o consumo mantém uma média de consumo constante.

Tabela 5.2 - Consumos Estimados e Simulados de Gás Natural, em kWh.

Meses	Consumo Gás Natural	
	Consumo Simulado (kWh)	Consumo Estimado (kWh)
Janeiro	95089	105010
Fevereiro	81510	86290
Março	60749	108180
Abril	80317	51160
Maió	74121	62280
Junho	32899	34680
Julho	14281	18270
Agosto	1136	200
Setembro	36706	23540
Outubro	61170	40070
Novembro	100437	76030
Dezembro	89021	86750
<b>Total</b>	<b>727238</b>	<b>692450</b>

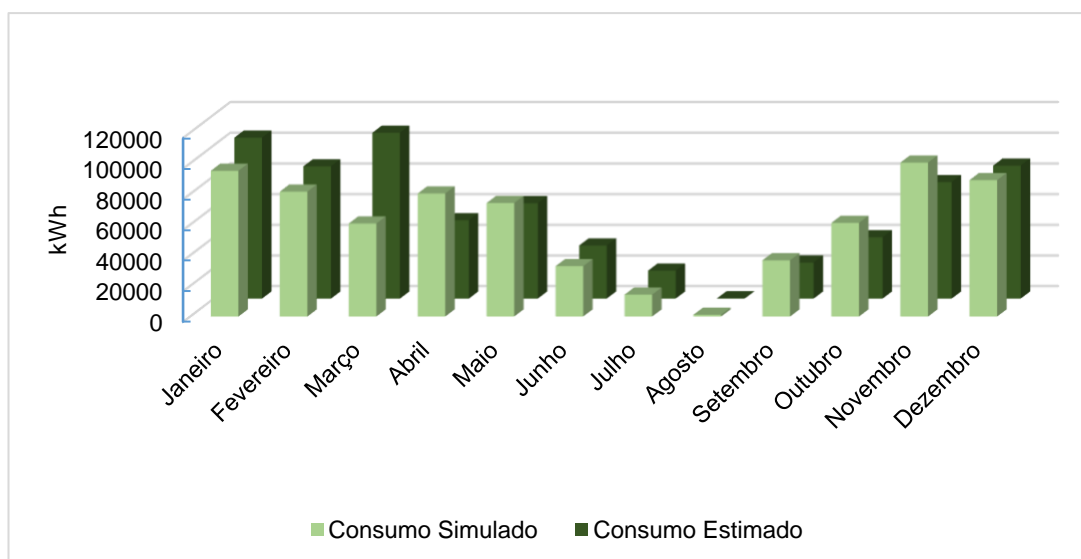


Figura 5.7 - Comparação de Consumos Estimados e Simulados de Gás Natural, em kWh.

Analogamente aos consumos de energia elétrica, analisando os valores totais de consumo de gás natural observa-se um erro de aproximadamente 5% entre os valores estimados e os valores obtidos por simulação, é interessante notar que graficamente, os consumos apesar de terem divergências referenciadas a alguns meses específicos, apresentam o comportamento similar, sendo o mês de agosto, o de menor consumo, prontamente por ser férias, o que condiciona a eliminação quase total do uso

do edifício, enquanto nos meses de inverno (dezembro-março) há um consumo mais elevado, devido as necessidades de aquecimento do edifício.

Após a obtenção os valores de consumo de eletricidade e gás natural é possível obter as emissões de CO<sub>2</sub>. Para obter-se um valor das emissões de dióxido de carbono o software apresenta uma estimativa do mesmo, contudo os fatores de conversão utilizados se diferem dos fatores de conversão da legislação portuguesa, explicitados no tópico 4.2.7. Assim, de forma a estandardizar os resultados, converte-se os valores de consumo faturados, substituindo os fatores de conversão descritos no tópico 4.2.7 pelos fatores de conversão do *DesignBuilder*, para em seguida, comparar os resultados, que podem ser vistos na Tabela 5.3 e Figura 5.8.

Tabela 5.3 - Emissões de Dióxido de Carbono Reais e Simuladas, em toneladas.

Meses	Emissões de Dióxido de Carbono (tonCO <sub>2e</sub> )	
	Real	Simulado
Janeiro	26998	26840
Fevereiro	22279	23305
Março	27391	18385
Abril	14276	23758
Maiο	17008	22561
Junho	10795	12171
Julho	5943	7719
Agosto	737	1997
Setembro	7417	13198
Outubro	12235	18948
Novembro	20297	28889
Dezembro	22247	25353
<b>Total</b>	<b>187622</b>	<b>223122</b>

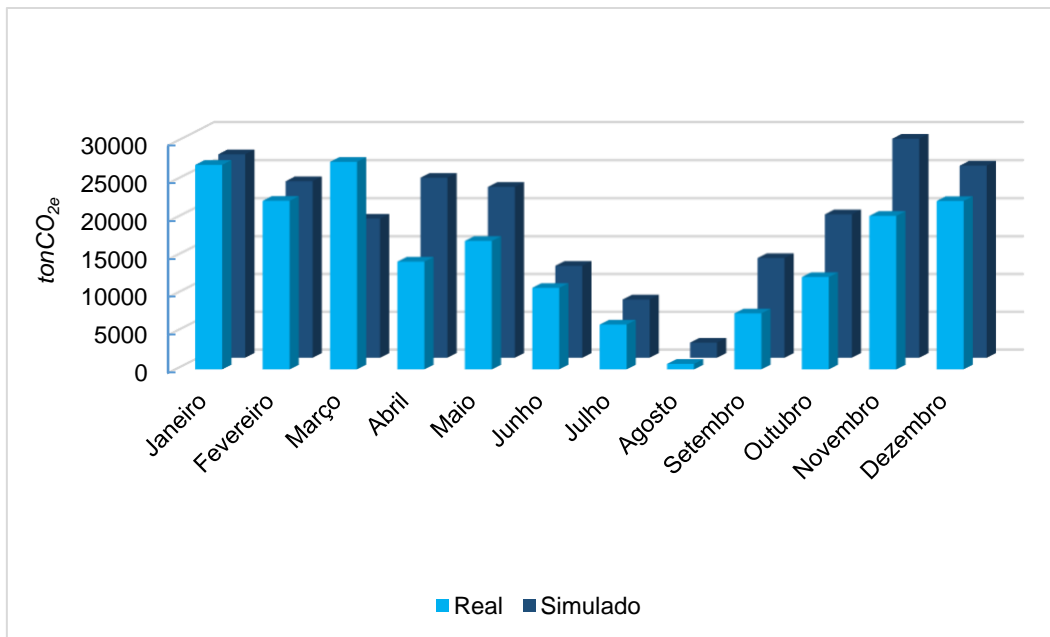


Figura 5.8 - Comparação das Emissões de Dióxido de Carbono Reais e Simuladas, em toneladas.

Analisando os valores obtidos pela Tabela 5.3, percebe-se que as emissões de dióxido de carbono são diretamente proporcionais aos consumos elétricos e de gás natural, por isso, os gráficos se assemelham no comportamento.

Outro fator importante a ser referenciado, é que estas alterações no consumo se relacionam com o ano de estudo, pois os dados obtidos através de faturação correspondem a um período anterior ao simulado, e levando em conta que os anos em geral se diferenciam entre si, os dados climáticos apresentam limitações.

Nos tópicos que seguem, são realizadas algumas análises qualitativas do edifício, principalmente no que diz respeito a temperaturas, perdas e ganhos dos edifícios.

### 5.3 Temperaturas, Humidade, Ganhos e Perdas

Como já mencionado anteriormente, para as necessidades energéticas de aquecimento a ferramenta *DesignBuilder* dimensiona uma potência ideal a instalar no edifício e utilizando uma temperatura externa constante no período de inverno, a simulação das necessidades de aquecimento permite obter resultados relativos a

temperatura interna do ar, temperatura operativa e temperatura radiante, além da temperatura externa e energia necessária para responder as variações de temperatura, bem como a umidade relativa do ar. Estes valores podem ser observados nas Tabelas Tabela 5.4 e Tabela 5.5 e nas Figura 5.9 e Figura 5.10.

Tabela 5.4 - Temperaturas Mensais Simuladas, em °C.

Meses	Temperatura do Ar (°C)	Temperatura Radiante (°C)	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
Janeiro	17,82	16,41	17,11	4,3
Fevereiro	19,18	18	18,59	6,02
Março	20,14	19,6	19,87	9,26
Abril	21,79	20,88	21,34	10,81
Mai	23,24	22,55	22,89	12,92
Junho	24,61	24,61	24,61	17,62
Julho	27,41	27,7	27,55	21,73
Agosto	25,98	26,09	26,04	21,02
Setembro	24,81	24,79	24,8	17,46
Outubro	22,35	21,78	22,07	13,21
Novembro	21,98	20,75	21,37	8,41
Dezembro	18,68	17,5	18,09	5,61

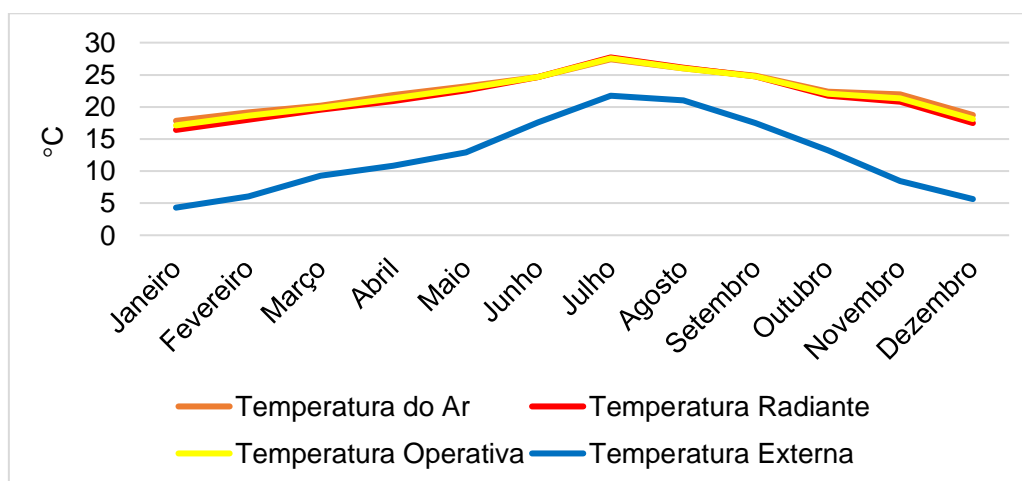


Figura 5.9 – Gráfico das Temperaturas Mensais Simuladas, em °C.

As temperaturas operativa e radiante seguem o mesmo padrão graficamente, visto que, são temperaturas uniformes de um recinto imaginário, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no recinto não uniforme real, e a temperatura do ar também chamada de temperatura interna, se

relaciona em grande parte ao metabolismo humano. Portanto essas temperaturas influenciam diretamente no conforto térmico do edifício.

Tabela 5.5 - Humidade Relativa do Ar Mensal Simulada, em kg.m<sup>3</sup>.

Meses	Humidade (kg.m <sup>3</sup> )
Janeiro	41,92
Fevereiro	39,2
Março	32,81
Abril	38,03
Maió	38,87
Junho	43,26
Julho	40,22
Agosto	36,61
Setembro	37,02
Outubro	44,41
Novembro	38,87
Dezembro	41,35

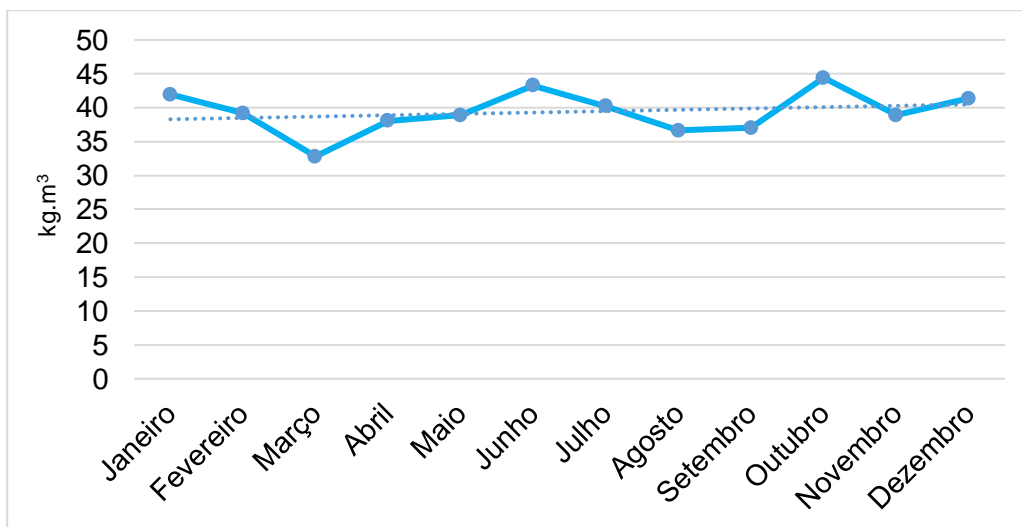


Figura 5.10 – Gráfico da Humidade Relativa do Ar Mensal Simulada, em kg.m<sup>3</sup>.

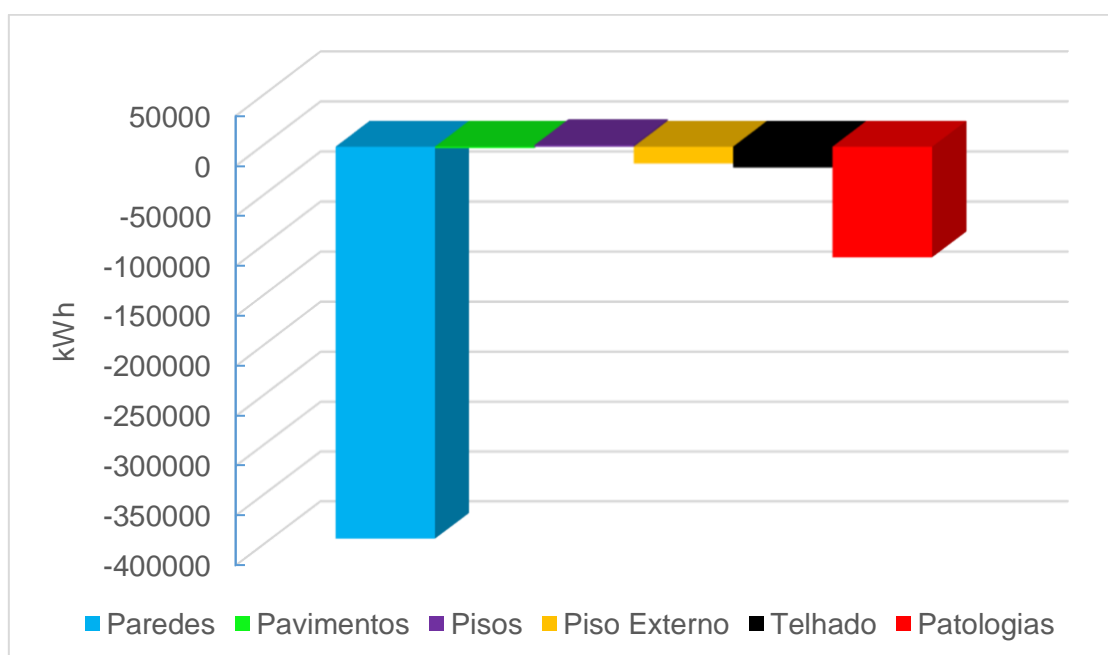
Pelo gráfico é possível observar que a humidade relativa do ar é diretamente proporcional a temperatura do ar e sua variação se verifica de forma mais direta no verão (junho-setembro), e não no inverno (dezembro-março), quando as temperaturas permanecem baixas, pois como já mencionado, quando temperatura da superfície está muito baixa significa que a humidade relativa do ar está muito alta, podendo haver

variações. O estudo da humidade é de grande valia, pois ajuda a evitar patologias e doenças descritas no capítulo anterior em 4.2.11.

O balanço dos ganhos e das perdas através da envolvente do edifício são apresentados nas Tabela 5.6, Figura 5.11 e Tabela 5.7, Figura 5.12, respetivamente. Pode-se notar que existem ganhos apenas pelos pisos (entre os pavimentos), sendo que as paredes externas e patologias são os responsáveis pela maior perda de calor.

*Tabela 5.6 - Principais Ganhos e Perdas pela Transferências de Calor da Envolvente do Edifício, em kWh.*

<b>Envolvente</b>	<b>Perdas e Ganhos</b>
Paredes	-392504
Pavimentos	-1430,06
Pisos Intermédios	1516,48
Piso Externo	-16752,2
Telhado	-20921,6
Patologias	-110511



*Figura 5.11 - Gráfico das Principais Perdas pela Transferências de Calor da Envolvente do Edifício, em kWh.*

A respeito dos ganhos internos, expressos na Tabela 5.7 e Figura 5.12 identifica-se o aquecimento e cozinha como um dos principais ganhos, uma vez que são gerados através do gás natural sendo o responsável pelo maior consumo do edifício, já a

iluminação se apresenta como um dos menores ganhos, uma vez que a maioria das lâmpadas são fluorescentes e LEDs, e estas tendem a gerar menos energia térmica se comparadas com as de halogeno e incandescentes. Outro ponto a ressaltar são os ganhos solares, que são pouco aproveitados uma vez que a residência verde foi projetada com uma direção clara de sombreamento de uma ala para outra, como pode ser visto no diagrama solar indicado pela Figura 5.2.

Tabela 5.7 - Principais Ganhos Internos do Edifício, em kWh.

Ganhos Internos	
Iluminação	29413
Cozinha	121508
Equipamentos	51307
Ocupação	70525
Ganhos Solares	100118
Aquecimento	610452

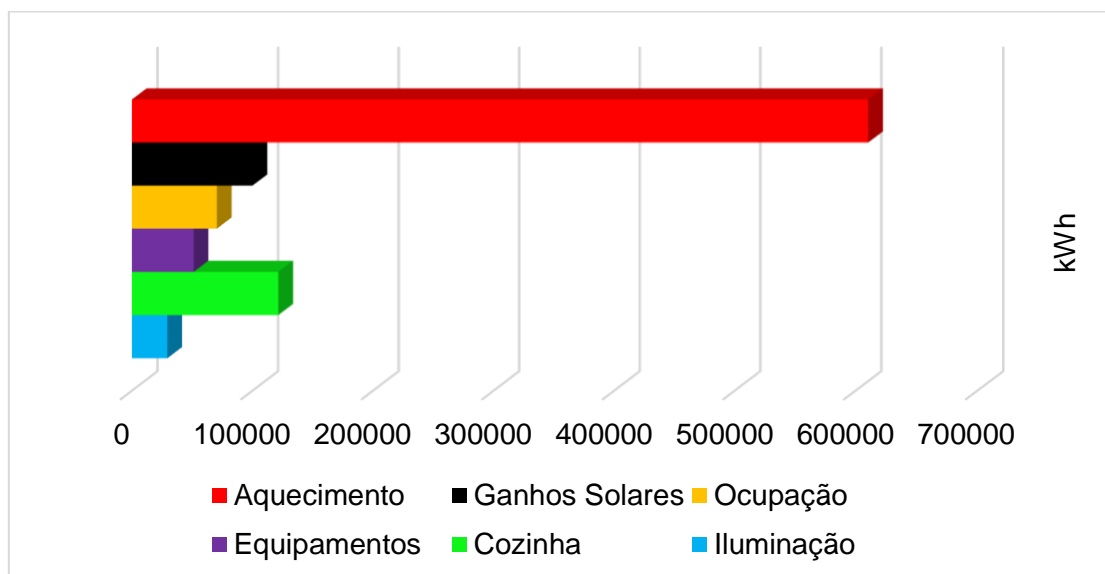


Figura 5.12 - Gráfico dos Principais Ganhos Internos do Edifício, em kWh.

## 5.4 Classificação Energética do Edifício

Dados os consumos energéticos respetivos ao ano de 2019, e com os dados obtidos através da simulação é possível determinar a classe energética do edifício. A equação 5.4 utilizada para o cálculo, é proveniente de [12]. Os valores que serão

utilizados para o cálculo e os respectivos resultados, são expressos nas Tabela 5.8 e Tabela 5.9, e neste caso, desconsidera-se da geração de energia pelo painel solar termodinâmico, visto que não há dados de consumos para o mesmo. Portanto, tem-se:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{REF,S}} \quad (5.4)$$

Onde:

- $R_{IEE}$ : rácio de classe energética;
- $IEE_S$ : indicador de eficiência energética obtido de acordo com a simulação;
- $IEE_{REN}$ : indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica a partir de fontes de energias renováveis;
- $IEE_{REF,S}$ : indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

*Tabela 5.8 - Classe Energética [12].*

Classe Energética	Valor de $R_{IEE}$
A+	$R_{IEE} \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R_{IEE} \leq 0.50$
B	$0.51 \leq R_{IEE} \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R_{IEE} \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R_{IEE} \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R_{IEE} \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R_{IEE} \leq 2.50$
F	$R_{IEE} \geq 2.51$

*Tabela 5.9 - Rácio de Classe Energética.*

$IEE_S$	$IEE_{REN}$	$IEE_{REF,S}$	$R_{IEE}$	Classe Energética
237,15	0	247,66	0,96	B-

Através dos cálculos realizados encontrou-se um valor de  $R_{IEE}$  de 0,96 o que condiciona ao edifício uma classificação energética do tipo B-, e apesar de não ter sido considerado a energia renovável (painéis solares termodinâmicos) é de se esperar que a classe energética se mantenha em B-, com a probabilidade de se alterar para B, caso houvesse acesso aos consumos.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

O objetivo principal desta dissertação foi atingido, tendo-se feita uma análise energética de um edifício de serviços que mapeia os consumos através de levantamentos de campo associado ao desenvolvimento do modelo realístico em software. O software utilizado apresenta um modelo matemático capaz de estruturar as características inseridas e, então, fornecer dados que dão uma visão mais ampla do edifício em estudo, fazendo com que, aquele que os analisa, seja capaz de identificar padrões estruturais de consumo, ganhos e perdas, e assim qualificar o edifício.

Comparou-se os valores anuais obtidos através de faturas energéticas para validação do modelo, uma vez que, este não deva ultrapassar os 10% de desvio previstos pela norma. Sobre a energia elétrica obteve-se uma diferença de 2,3% em relação ao consumo anual dos valores faturados e simulados, enquanto que, de gás natural obteve-se uma diferença estimada de 5%, visivelmente mais elevado, justificado pela utilização de valores de consumo que partem de estimativas baseadas em medições e estudos previamente estabelecidos. Constata-se assim que os valores encontrados na simulação são satisfatórios, uma vez que, respeitam o imposto pela legislação.

Verifica-se que o edifício em estudo tem classe energético do tipo B- e um consumo energético total no ano de 2019 de aproximadamente 771.380 kW, sendo que a maior parte deste consumo, neste caso 89%, provenientes do gás natural, justificado pela falta de isolamento térmico e localização em zona climática classificada como muito fria. Desta forma, a maior parte do consumo de gás natural é destinada ao aquecimento das zonas do edifício, enquanto o resto é dedicado a refeições, implementado na zona da cozinha. O consumo elétrico utilizado em suma para iluminação e equipamentos representa 11% do consumo total do edifício.

Além disso, é de grande valia esta comparação entre modelo computacional e edifício em questão pois centraliza as informações que poderão ser usadas presente ou futuramente para aplicação de melhorias. Estas melhorias podem ser feitas na estrutura construtiva do edifício – através de requalificações – como aconteceu com o envidraçado, mas também na diminuição do consumo, através de uma melhor distribuição da iluminação, também a partir de manutenções padronizadas de lâmpadas avariadas e medidas comportamentais, conscientizando os moradores da adoção de medidas de racionalização capazes de gerar economias a nível monetário e ambiental.

Outras melhorias que podem ser implementadas, mas requerem um estudo mais minucioso são a instalação de tecnologias de controle, como por exemplo, sensores de presença em ambientes comuns, e a substituição de lâmpadas halógenas por lâmpadas de LED, que representam uma vida útil maior e um consumo de energia reduzido se comparadas umas as outras. Em conjunto, ainda há uma grande oportunidade para a exploração de energia renováveis no âmbito construtivo do edifício.

As melhorias explicitadas acima, podem utilizar-se do modelo em software para implementação de simulações, de forma a descobrir a melhor forma de requalificar o edifício, além, da possibilidade de uma análise mais crítica através de medições de campo com o mesmo funcionando em condições normais.

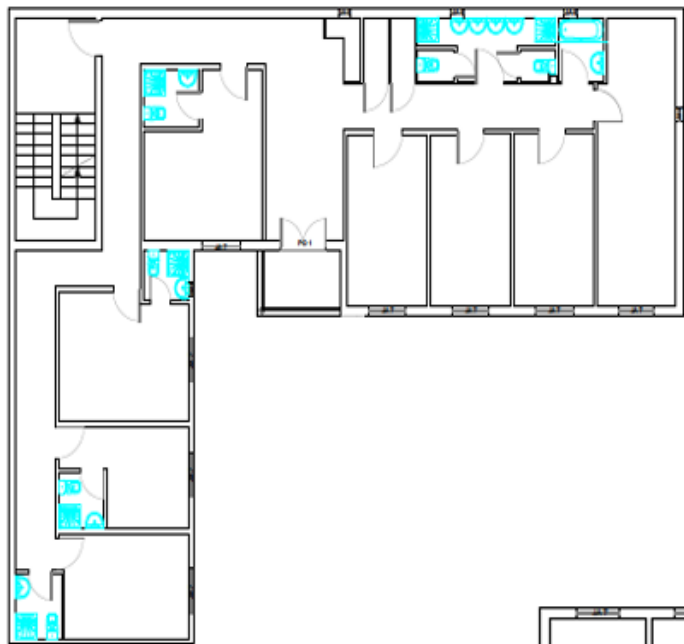
Por fim, cabe ressaltar que o trabalho realizado é a base para uma auditoria energética, portanto, todos os dados coletados podem ser utilizados em uma auditoria, fazendo com que as informações sugeridas para trabalho futuros, como a implementação de medições e respectivas melhorias com o objetivo claro de atingir a poupança energética, sintetizam o objetivo principal do documento, podendo facilmente ser explorada futuramente.

## 7 Referências Bibliográficas

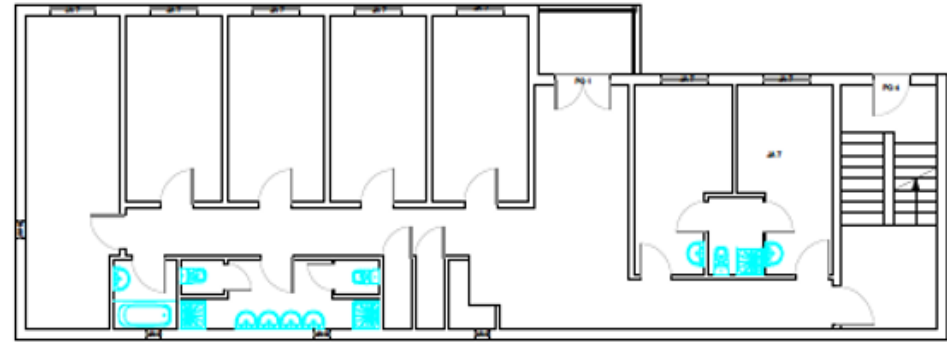
- [1] U. de I. Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, *Energia em Números*. Lisboa, Portugal, 2020.
- [2] DGEG, *Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios*. .
- [3] I. Soares, “As políticas e prioridades para a Eficiência Energética e para as Energias Renováveis em Portugal,” 2020, [Online]. Available: [http://www.gppq.fct.pt/h2020/\\_docs/eventos/5632\\_apresentacao-dgeg.pdf](http://www.gppq.fct.pt/h2020/_docs/eventos/5632_apresentacao-dgeg.pdf).
- [4] Organização das Nações Unidas ONU, “Protocolo de Quioto,” *Protoc. Quioto*, 2003.
- [5] Comissão Europeia, “DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, vol. L 1, no. 11, pp. 65–71, 2003.
- [6] G. Augenbroe, “Trends in building simulation,” *Build. Environ.*, 2002, doi: 10.1016/S0360-1323(02)00041-0.
- [7] P. Europeu, P. Europeu, J. Oficial, J. Oficial, P. Europeu, and J. Oficial, “Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 , relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *J. Of. nº L 153*, pp. 13–35, 2010, [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:01:PT:HTML>.
- [8] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), *Principles for nearly zero-energy buildings, Paving the way for Effective Implementation of Policy Requirements.*, no. November. 2011.
- [9] M. Economidou, J. Laustsen, P. Ruyssevelt, and D. Staniaszek, *Europe ’ S Buildings Under the Microscope*, no. October. 2011.
- [10] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 118/2013, DE 20 DE agosto (desempenho energético dos edifícios),” *Diário da República*, vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.
- [11] “DRE - Diário da República Eletrónico.” <https://dre.pt> (accessed Oct. 22, 2020).
- [12] M. D. E. E. Do Emprego, “Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro,” *Diário da República*, no. 40, pp. 40–73, 2013.
- [13] R. De Lieto Vollaro and E. De Lieto Vollaro, “Informing on Best Practices Using Design Builder and RET Screen to Calculate Energetic, Financial, and Environmental Impacts of Energy Systems for Buildings,” *Int. J. Adv. Res. Eng.*, vol. 4, no. 2, p. 11, 2018, doi: 10.24178/ijare.2018.4.2.11.
- [14] “EnergyPlus.” <https://energyplus.net> (accessed Oct. 20, 2020).
- [15] “Design Builder Index.” <http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/index.htm> (accessed Oct. 20, 2020).
- [16] A. F. R. de Sá, “Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética,” Porto: Publindústria, 2008.
- [17] Despacho nº 15793-F, “Zonamento Climático,” *Diário da República*, vol. 2.<sup>a</sup> série, no. 234, pp. 26–31, 2013.

- [18] ADENE, “Isolamento de Paredes.” ADENE - Agência para a Energia, Lisboa, Portugal, p. 8, 2016, [Online]. Available: [www.adene.pt](http://www.adene.pt).
- [19] P. H. G. D. geral Cabral, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” *Diário da Repub.*, vol. 2º série, no. 58, p. 30, 2013.
- [20] ADENE, “Isolamento de Coberturas.” ADENE - Agência para a Energia, Lisboa, Portugal, p. 8, 2016, [Online]. Available: [www.adene.pt](http://www.adene.pt).
- [21] ADENE, “Janelas Eficientes.” ADENE - Agência para a Energia, Lisboa, Portugal, p. 8, 2016, [Online]. Available: [www.adene.pt](http://www.adene.pt).
- [22] S. Cardoso, “Vidros duplos: mais no conforto, menos nas contas de energia,” 2018. .
- [23] S. Distribuidora, S. Distribuidora, G. D. L. S. Distribuidora, S. Distribuidora, and S. Distribuidora, “Métodos de Estimativa.”
- [24] “Despacho n. 15793-D/2013,” no. 13, p. 35088, 2013.
- [25] “Energia Solar Termodinâmica.” <https://www.enat.pt/solar-termodinamica> (accessed Oct. 22, 2020).
- [26] J. P. S. R. F. Duarte, “Condensações Superficiais Interiores: Avaliação do Risco,” p. 109, 2010.

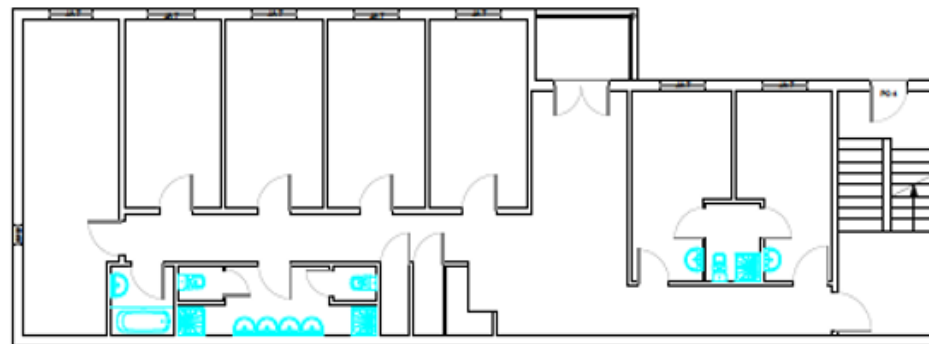
# 0 Anexos



Ala A

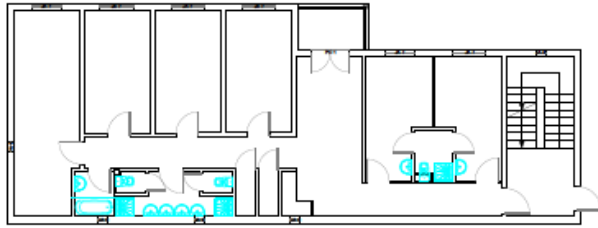


Ala B

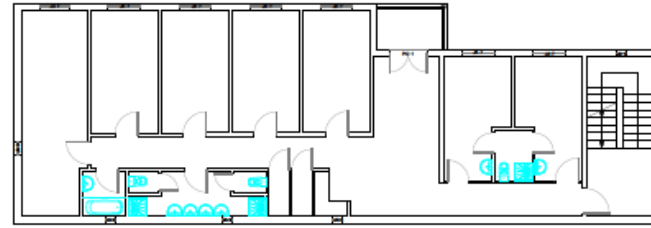


Ala C

Figura 0.1 - Plantas Piso -2



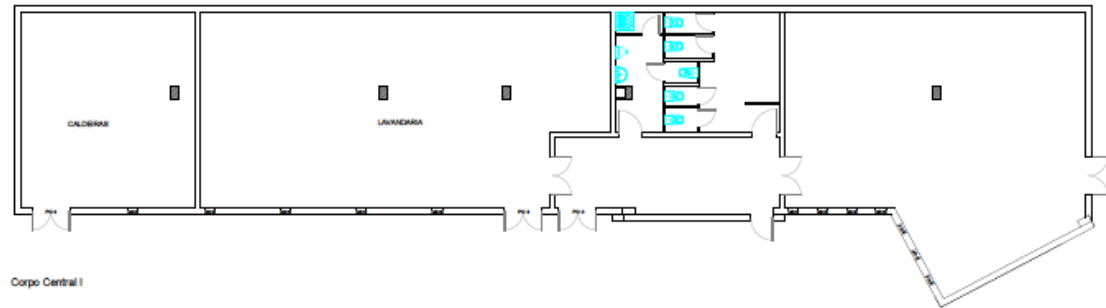
Ala A



Ala B



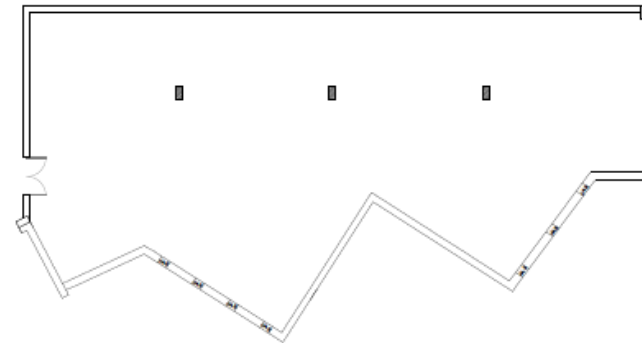
Ala C



Corpo Central I



Ala D



Corpo Central II

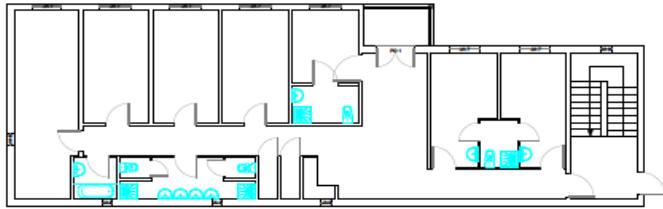
Figura 0.2 - Plantas Piso -1



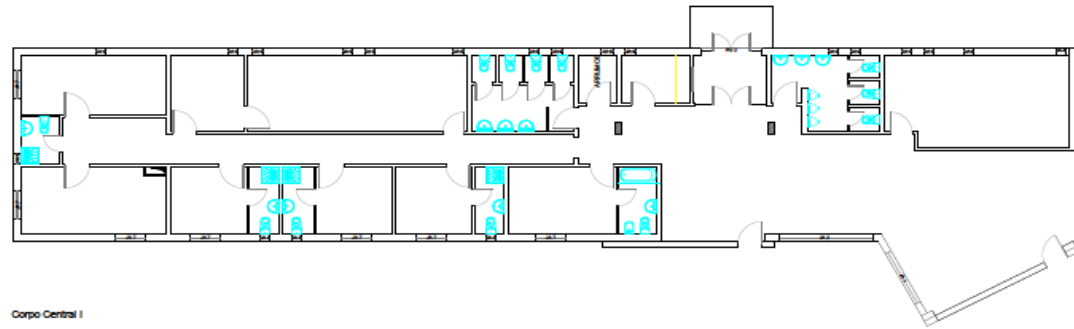
Ala A



Ala B



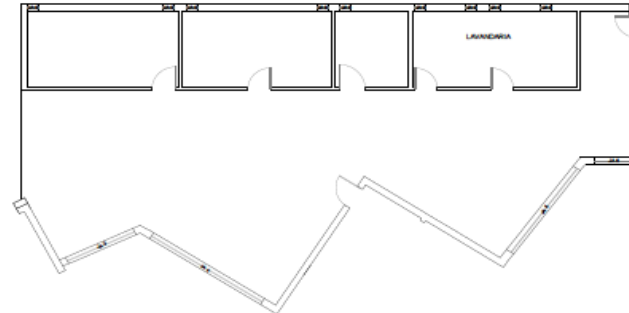
Ala C



Corpo Central I

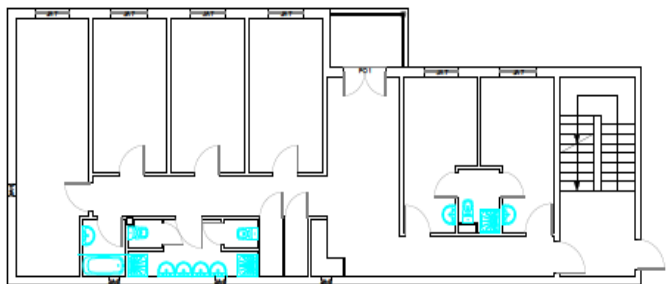


Ala D

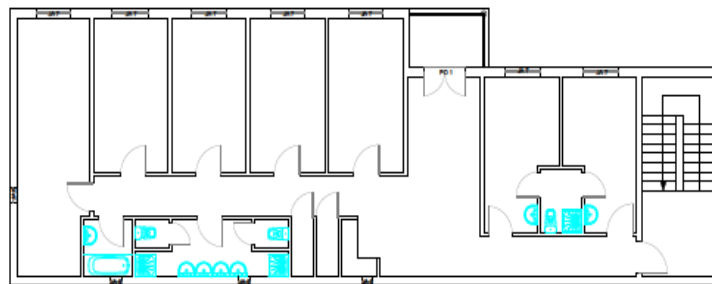


Corpo Central II

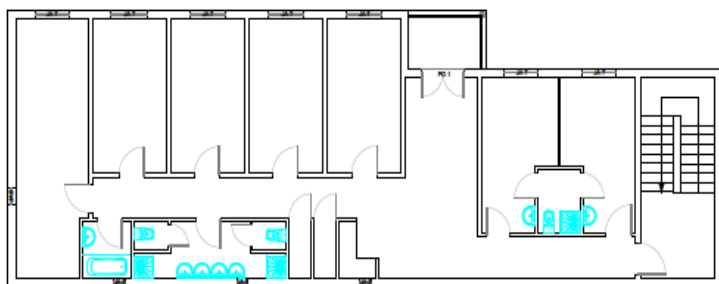
Figura 0.3 - Plantas Piso 0



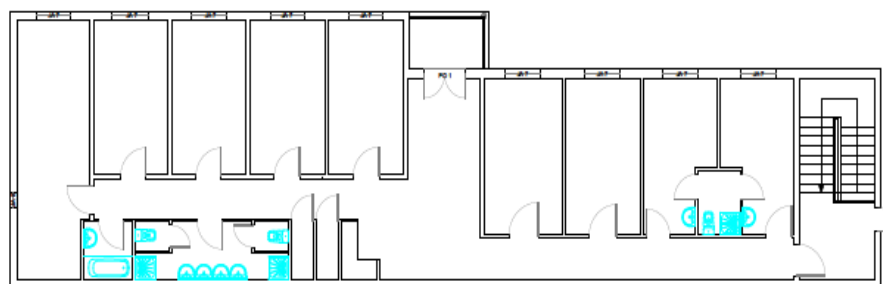
Ala A



Ala B

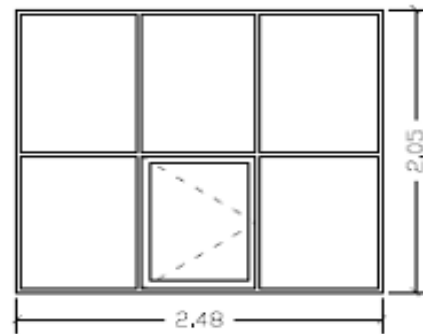


Ala C

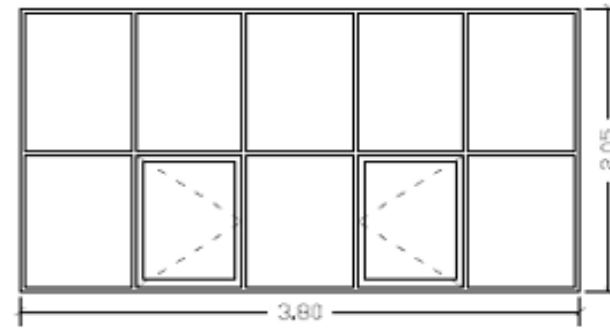


Ala D

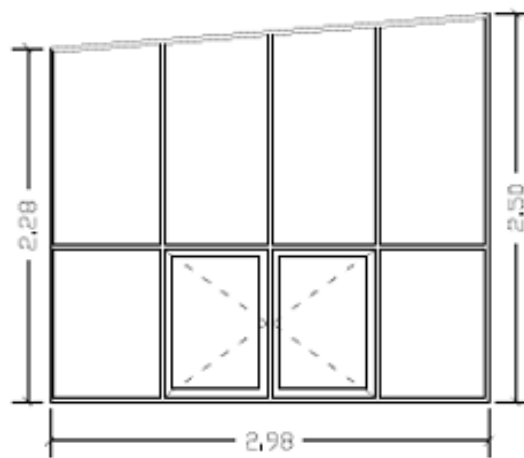
Figura 0.4 - Plantas Piso 1



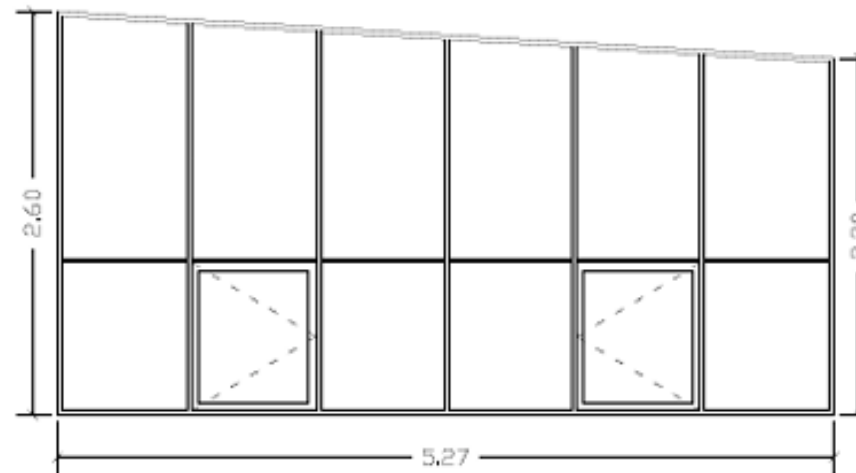
JA 1  
1 unidade  
Modulo fixo com  
uma folha de abrir



JA 2  
1 unidade  
Modulo fixo com  
duas folhas de abrir



JA 3  
1 unidade  
Modulo fixo com  
duas folhas de abrir



JA 4  
1 unidade  
Modulo fixo com  
duas folhas de abrir

Figura 0.5 - Mapa de Vãos Envidraçados (1)

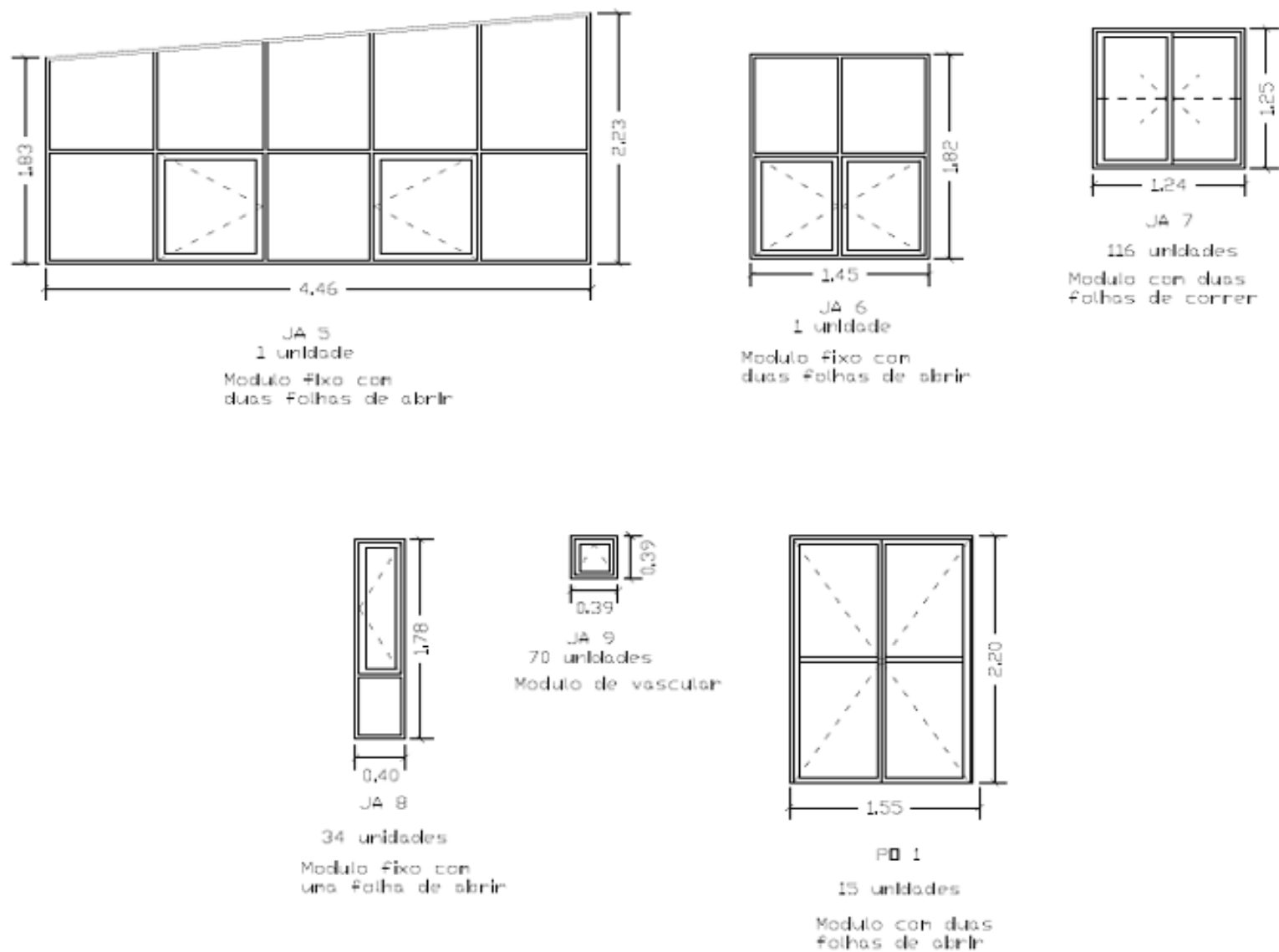


Figura 0.6 - Mapa de Vãos Envidraçados (2)

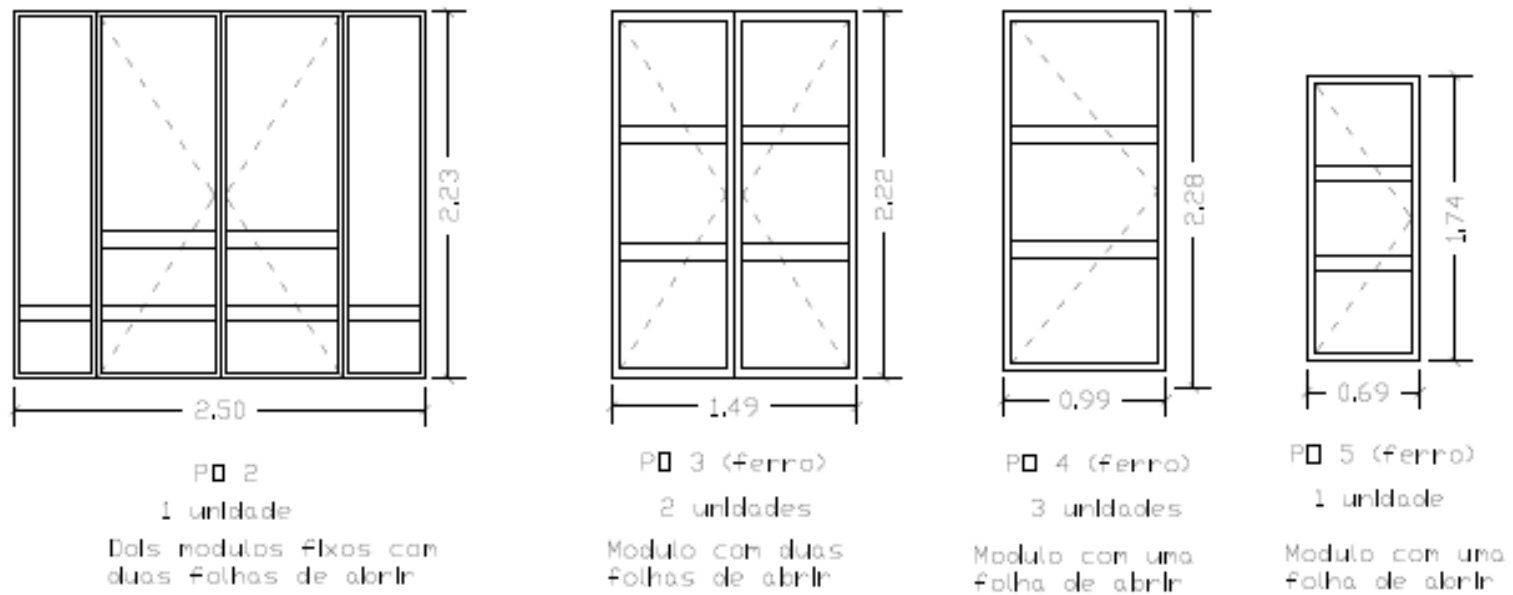


Figura 0.7 - Mapa de Vãos Envidraçados (3)

Tabela 0.1 - Levantamento Energético, Ala A

		Iluminação					
Designação		Tipo <sup>1</sup>	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)	Área (m <sup>2</sup> )	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
Ala A (Piso 1)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	H	18	1	0,018	35,57	3,06
		I	25	1	0,025		
		F	7	2	0,014		
			28	1	0,028		
		24	1	0,024			
	Quarto Individual 1	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	Quarto Individual 2	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	Casa de Banho 1	L	11	1	0,011	3,00	3,67
	Despensa	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	Arrumos	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	Quarto Duplo 1	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 2	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 3	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Triplo	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	Casa de Banho 2	L	9	2	0,018	8,00	6,75
F		36	1	0,036			
Casa de Banho 3	L	5	1	0,005	2,79	1,79	
Ala A (Piso 0)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	H	18	2	0,036	35,57	2,59

<sup>1</sup> F = Fluorescente  
L = LED  
H = Halogena  
I = Incandescente

		L	4	1	0,004		
		F	28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	F	28	1	0,028	8,33	3,36
	<i>Casa de Banho p/ Deficientes</i>	L	7	1	0,007	4,35	1,61
	<i>Despensa</i>	L	5,5	1	0,0055	1,50	3,67
	<i>Arrumos</i>	L	5,5	1	0,0055	1,50	3,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	9	2	0,018	8,00	6,75
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	9	1	0,009	2,79	3,23
	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	H	18	3	0,054	35,57	2,98
		F	28	1	0,028		
	24		1	0,024			
<b>Ala A (Piso -1)</b>	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Despensa</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Arrumos</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18

	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	9	1	0,009	8,00	7,00
			11	1	0,011		
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	2,79	2,51
<b>Ala A (Piso -2)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	H	28	3	0,084	35,57	3,82
		F	28	1	0,028		
		F	24	1	0,024		
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	15,69	1,78
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Despensa</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Arrumos</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	9	2	0,018	8,00	6,75
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	9	1	0,009	3,00	3,00
	<i>Corredor 2</i>	H	40	1	0,04	20,29	5,96
		H	28	2	0,056		
		H	25	1	0,025		
	<i>Quarto Duplo 5</i>	F	28	1	0,028	15,35	1,82
	<i>Casa de Banho 4</i>	L	10	1	0,01	2,04	4,90
<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	9,90	2,83	
<i>Casa de Banho 5</i>	L	11	1	0,011	2,40	4,58	
<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	13,80	2,03	

	<i>Casa de Banho 6</i>	L	10	1	0,01	2,82	3,54
--	------------------------	---	----	---	------	------	------

*Tabela 0.2 - Levantamento Energético, Ala B*

		Iluminação					
Designação	Tipo <sup>2</sup>	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)	Área (m²)	Densidade de Potência (W/m²)	
<b>Ala B (Piso 1)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	L	4	3	0,012	42,44	1,51
		F	28	1	0,028		
				24	1	0,024	
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Despensa</i>	L	10	1	0,01	1,50	6,67
	<i>Arrumos</i>	L	10	1	0,01	1,50	6,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	6	1	0,006	9,53	5,35
		9	1	0,009			
F		36	1	0,036			
<i>Casa de Banho 3</i>	L	9	1	0,009	3,15	2,86	

<sup>2</sup> F = Fluorescente  
L = LED  
H = Halogena  
I = Incandescente

<b>Ala B (Piso 0)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	L	4	3	0,012	42,44	1,51
		F	28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	F	28	1	0,028	8,33	3,36
	<i>Casa de Banho p/ Deficientes</i>	L	5,5	1	0,0055	3,35	1,64
	<i>Despensa</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Arrumos</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	1	0,007	9,53	5,56
			10	1	0,01		
F		36	1	0,036			
<i>Casa de Banho 3</i>	L	5,5	1	0,0055	3,15	1,75	
<b>Ala B (Piso -1)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	L	7	1	0,007	42,44	2,07
			H	18	1		
		11		1	0,011		
		F	28	1	0,028		
	24		1	0,024			
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43	
<i>Casa de Banho 1</i>	L	11	1	0,011	3,00	3,67	

	<i>Despensa</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Arrumos</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	9	1	0,009	9,53	5,46
			7	1	0,007		
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	3,15	2,22
<b>Ala B (Piso -2)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	H	28	2	0,056	42,44	2,54
		F	28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	9	1	0,009	3,00	3,00
	<i>Despensa</i>	L	5,5	1	0,0055	1,50	3,67
	<i>Arrumos</i>	L	5,5	1	0,0055	1,50	3,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	2	0,014	9,53	5,25
		F	36	1	0,036		
<i>Casa de Banho 3</i>	L	9	1	0,009	3,15	2,86	

Tabela 0.3 - Levantamento Energético, Ala C

		Iluminação					
Designação	Tipo <sup>3</sup>	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)	Área (m²)	Densidade de Potência (W/m²)	
Ala C (Piso 1)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	F	7	6	0,042	42,19	2,23
			28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	Quarto Individual 1	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	Quarto Individual 2	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	Casa de Banho 1	L	9	1	0,009	3,00	3,00
	Despensa	L	6	1	0,006	1,50	4,00
	Arrumos	L	6	1	0,006	1,50	4,00
	Quarto Duplo 1	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 2	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 3	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 4	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Triplo	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	Casa de Banho 2	L	7	2	0,014	9,53	5,25
F		36	1	0,036			
Casa de Banho 3	L	7	1	0,007	3,15	2,22	
Ala C (Piso 0)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	F	7	6	0,042	42,19	2,23

<sup>3</sup> F = Fluorescente  
L = LED  
H = Halogena  
I = Incandescente

		F	28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	F	28	1	0,028	8,33	3,36
	<i>Casa de Banho p/ Deficientes</i>	L	10	1	0,01	3,35	2,99
	<i>Dispensa</i>	H	42	1	0,042	1,50	28,00
	<i>Arrumos</i>	H	42	1	0,042	1,50	28,00
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	2	0,014	9,53	5,25
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	3,15	2,22
	<b>Ala C (Piso -1)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18
<i>Cozinha/Corredor</i>		H	28	1	0,028	42,19	2,56
		F	7	4	0,028		
			28	1	0,028		
			24	1	0,024		
<i>Quarto Individual 1</i>		F	28	1	0,028	11,29	2,48
<i>Quarto Individual 2</i>		F	28	1	0,028	11,53	2,43
<i>Casa de Banho 1</i>		L	7	1	0,007	3,00	2,33
<i>Dispensa</i>		H	42	1	0,042	1,50	28,00
<i>Arrumos</i>		H	42	1	0,042	1,50	28,00
<i>Quarto Duplo 1</i>		F	28	1	0,028	12,85	2,18
<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18	

	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	2	0,014	9,53	5,25
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	10	1	0,01	3,15	3,17
<b>Ala C (Piso -2)</b>	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>	F	7	6	0,042	42,19	2,23
			28	1	0,028		
			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Despensa</i>	L	7	1	0,007	1,50	4,67
	<i>Arrumos</i>	L	7	1	0,007	1,50	4,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	9	2	0,018	9,53	5,67
		F	36	1	0,036		
<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	3,15	2,22	

Tabela 0.4 - Levantamento Energético, Ala D

		Iluminação					
Designação		Tipo <sup>4</sup>	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)	Área (m <sup>2</sup> )	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
Ala D (Piso 1)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	F	7	8	0,056	49,55	1,13
	Quarto Individual 1	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	Quarto Individual 2	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	Casa de Banho 1	L	10	1	0,01	3,00	3,33
	Despensa	L	7	1	0,007	1,50	4,67
	Arrumos	L	7	1	0,007	1,50	4,67
	Quarto Duplo 1	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 2	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 3	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 4	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 5	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Duplo 6	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	Quarto Triplo	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	Casa de Banho 2	L	9	2	0,018	9,53	5,67
F		36	1	0,036			
Casa de Banho 3	L	9	1	0,009	3,15	2,86	
Ala D (Piso 0)	Escadaria	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	Cozinha/Corredor	F	7	8	0,056	49,55	2,18
28			1	0,028			

<sup>4</sup> F = Fluorescente  
L = LED  
H = Halogena  
I = Incandescente

			24	1	0,024		
	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	9	1	0,009	3,00	3,00
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	F	28	1	0,028	8,33	3,36
	<i>Casa de Banho p/ Deficientes</i>	L	7	1	0,007	3,55	1,97
	<i>Despensa</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Arrumos</i>	H	46	1	0,046	1,50	30,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 5</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	2	0,014	9,53	5,25
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	3,15	2,22
	<i>Escadaria</i>	F	7	4	0,028	16,18	1,73
	<i>Cozinha/Corredor</i>		7	6	0,042	49,55	1,90
		F	28	1	0,028		
			24	1	0,024		
<b>Ala D (Piso -1)</b>	<i>Quarto Individual 1</i>	F	28	1	0,028	11,29	2,48
	<i>Quarto Individual 2</i>	F	28	1	0,028	11,53	2,43
	<i>Casa de Banho 1</i>	L	7	1	0,007	3,00	2,33
	<i>Despensa</i>	L	10	1	0,01	1,50	6,67
	<i>Arrumos</i>	H	40	1	0,04	1,50	26,67
	<i>Quarto Duplo 1</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 2</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18

	<i>Quarto Duplo 3</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 4</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 5</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Duplo 6</i>	F	28	1	0,028	12,85	2,18
	<i>Quarto Triplo</i>	F	28	2	0,056	20,58	2,72
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	2	0,014	9,53	5,25
		F	36	1	0,036		
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	10	1	0,01	3,15	3,17

Tabela 0.5 - Levantamento Energético, Corpos Centrais

Designação		Iluminação					
		Tipo <sup>5</sup>	Potência (W)	Quantidade	Potência Total (kW)	Área (m <sup>2</sup> )	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
<b>Corpo Central I (Piso 0)</b>	<i>Recepção</i>	F	7	4	0,028	6,11	4,58
	<i>Portaria</i>	F	36	1	0,036	5,69	6,33
	<i>Hall de Entrada/Corredor</i>	F	7	8	0,056	118,76	2,44
			26	9	0,234		
	<i>Casa de Banho 1</i>	F	36	1	0,036	12,42	6,76
		H	16	3	0,048		
	<i>Sala de Informática</i>	F	36	3	0,108	28,54	3,78
	<i>Gabinete Clínico</i>	F	58	1	0,058	12,57	4,61
	<i>Casa de Banho 2</i>	L	7	1	0,007	4,34	1,61
	<i>Leito Médico 1</i>	F	36	2	0,072	8,81	8,17
	<i>Casa de Banho 3</i>	L	7	1	0,007	3,47	2,02
	<i>Leito Médico 2</i>	F	36	2	0,072	8,81	8,17
	<i>Casa de Banho 4</i>	L	7	1	0,007	3,61	1,94
	<i>Leito Médico 3</i>	F	36	2	0,072	8,81	8,17
	<i>Casa de Banho 5</i>	L	7	1	0,007	3,47	2,02
	<i>Gabinete de Saúde</i>	F	36	4	0,144	16,91	8,52
	<i>Sala de Enfermagem</i>	F	36	4	0,144	15,03	9,58
	<i>Casa de Banho 6</i>	L	9	1	0,009	3,10	2,90
<i>Escritório</i>	F	36	2	0,072	9,65	7,46	
<i>Sala de Estudo</i>	F	26	5	0,13	28,78	4,52	

<sup>5</sup> F = Fluorescente  
L = LED  
H = Halogena  
I = Incandescente

	<i>Casas de Banho</i>	F	18	1	0,018	13,41	14,32
			36	1	0,036		
		H	46	3	0,138		
	<i>Arrumos</i>	F	58	1	0,058	3,21	18,08
<b>Corpo Central I (Piso -1)</b>	<i>Armazém 1</i>	F	36	9	0,324	107,21	3,02
	<i>Corredor</i>	F	36	4	0,144	26,54	5,42
	<i>Casas de Banho</i>	F	36	5	0,18	30,58	5,89
	<i>Lavandaria</i>	F	36	30	1,08	118,09	9,15
	<i>Caldeiras</i>	F	36	8	0,288	52,62	5,47
<b>Corpo Central II (Piso 0)</b>	<i>Sala de Estudo 1</i>	F	26	3	0,078	19,90	3,92
	<i>Sala de Estudo 2</i>	F	26	3	0,078	19,77	3,94
	<i>Sala de Estudo 3</i>	F	26	3	0,078	9,55	8,16
	<i>Lavandaria dos Alunos</i>	F	36	4	0,144	21,71	6,63
	<i>Salão de Convívio</i>	F	26	25	0,65	153,30	4,24
<b>Corpo Central II (Piso -1)</b>	<i>Armazém 2</i>	F	36	36	1,296	228,57	5,67

Tabela 0.6 - Anomalias por Piso, Ala A

Designação		Observações/Anomalias		
		Paredes	Piso	Teto
<b>Ala A (Piso 1)</b>	<i>Quarto Triplo</i>	Fungos		
<b>Ala A (Piso 0)</b>	<i>Cozinha/Corredor</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 1</i>			Infiltração
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	Fungos		
<b>Ala A (Piso -1)</b>	<i>Cozinha/Corredor</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 1</i>			Fungos
	<i>Quarto Triplo</i>	Fungos		
<b>Ala A (Piso -2)</b>	<i>Quarto Duplo 1</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 1</i>			Infiltração
	<i>Corredor 2</i>	Fungos	Fungos	Infiltração
	<i>Quarto Duplo 5</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 4</i>			infiltração
	<i>Quarto Duplo 3</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 6</i>			Infiltração

Tabela 0.7 - Anomalias por Piso, Ala B

Designação		Observações/Anomalias		
		Paredes	Piso	Teto
<b>Ala B (Piso 1)</b>	<i>Cozinha/Corredor</i>			Infiltração
	<i>Quarto Individual 1</i>	Fungos		
<b>Ala B (Piso 0)</b>	<i>Cozinha/Corredor</i>			Infiltração
	<i>Casa de Banho 1</i>			Fungos
	<i>Quarto p/ Deficientes</i>	Infiltração		
<b>Ala B (Piso -1)</b>	<i>Casa de Banho 1</i>			Fungos
	<i>Quarto Triplo</i>	Fungos		

Tabela 0.8 - Anomalias por Piso, Ala C

Designação		Observações/Anomalias		
		Paredes	Piso	Teto
Ala C (Piso 1)	Quarto Individual 1	Infiltração		
	Quarto Individual 2	Infiltração		
	Quarto Duplo 4	Fungos		
	Quarto Triplo	Fungos		
Ala C (Piso 0)	Cozinha/Corredor			Infiltração
	Quarto Individual 1	Infiltração		
	Casa de Banho 1			Fungos
	Quarto p/ Deficientes	Fungos		
	Quarto Duplo 1	Infiltração		
	Quarto Duplo 3	Infiltração		
	Quarto Triplo	Fungos		
Ala C (Piso -1)	Cozinha/Corredor			Infiltração
	Casa de Banho 1			Fungos
	Quarto Triplo	Fungos		
Ala C (Piso -2)	Cozinha/Corredor	Infiltração		

Tabela 0.9 - Anomalias por Piso, Ala D

Designação		Observações/Anomalias		
		Paredes	Piso	Teto
Ala D (Piso 1)	Escadaria	Infiltração		
	Casa de Banho 1			Fungos
	Quarto Triplo	Fungos		
Ala D (Piso 0)	Escadaria	Infiltração		Infiltração
	Quarto Individual 1	Infiltração		
	Quarto Individual 2			
	Casa de Banho 1			Infiltração
Ala D (Piso -1)	Escadaria	Infiltração		
	Casa de Banho 1			Fungos
	Quarto Triplo	Fungos		Infiltração