

**Estudo e Análise da Eficiência Energética num Edifício de serviços**  
**Uma Abordagem de Medição e Verificação (M&V)**

**Study and Analysis of Energy Efficiency in commercial Building**  
**A Measurement and Verification Approach (M&V)**

**Paulo Silva Rodrigues André**  
Licenciado em Engenharia Mecânica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre  
**Energia e Climatização de Edifícios**

**Orientador:** Professor Raul Lana Miguel

**Março de 2014**

## **Estudo e Análise da Eficiência Energética num Edifício de serviços Uma Abordagem de Medição e Verificação (M&V)**

### **Declaração de Autoria do Trabalho**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referência incluídas.

### **Assinatura**

---

### **Copyright**

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **Dedicatória**

“A maioria das ideias fundamentais da ciência  
são essencialmente sensíveis e, regra geral,  
podem ser expressas em linguagem  
compreensível a todos”

*Albert Einstein*

A todos os que me têm  
acompanhado ao longo  
da minha vida.

Obrigado.

## **Agradecimentos**

A concretização deste trabalho não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas que me acompanharam e incentivaram ao longo deste período. Por essa razão deixo algumas palavras de apreço e os meus sinceros agradecimentos:

A toda a minha família, em particular à minha filha Laura pela sua compreensão.

Ao Sr. Professor Raul Lana Miguel que, desde o início, acompanhou, como orientador científico, o trabalho desta tese, tudo aquilo que me ensinou.

Ao Sr. Professor António Mortal, pelas suas palavras de incentivo, disponibilidade, e apoio desde o início do Mestrado.

Ao meu amigo e colega Paulo Viegas Martins pelo apoio, preocupação e encorajamento.

Aos Administradores da minha empresa, Manuel Teodósio Caldinha e José de Sousa Cabrita, pelo apoio incondicional.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para que este projeto fosse concretizável, o meu muito obrigado.

## Resumo

A realização do presente trabalho tem por objetivo apresentar uma abordagem para a determinação da redução dos custos de energia num edifício de serviços existente, sem prejuízo do conforto dos seus ocupantes.

A eficiência energética é um tema que tem vindo a assumir uma importância cada vez maior na nossa sociedade, não só pelos compromissos internacionais assumidos, como pelo combate ao desperdício energético.

O aumento dos custos energéticos tem apelado ao uso racional da energia por parte das organizações, implicando uma monitorização permanente nas instalações. Com base nesta metodologia surgiram as medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE).

Será seguido, no desenvolvimento deste trabalho, o Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho (IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol), que estipula um conjunto de metodologias e procedimentos para a Medição e Verificação (M&V).

A Medição e Verificação vai permitir determinar com precisão a poupança real obtida numa instalação por um plano de gestão de energia, aumentando assim os níveis de confiança das medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE).

Será aplicada a opção D (Simulação calibrada) do protocolo IPMVP, dada a possibilidade que esta permite em estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação, simulando o consumo medido antes e depois da implementação das medidas de melhoria de eficiência energética.

Na realização deste trabalho foi utilizado o Energy Plus com o interface design Builder como software específico para a simulação dinâmica multizona.

O modelo computacional desenvolvido foi calibrado através dos consumos elétricos, obtidos através de contagens (faturas). No final foram comparados os resultados obtidos e estimadas as densidades de equipamento necessárias para que os consumos totais simulados estivessem dentro de uma faixa de mais ou menos 10% do real, o que atende o critério do IPMVP de desvio para o valor mensal.

Foi efetuado um levantamento de campo, confrontando os dados definidos no projeto de licenciamento com o existente, o que permitiu definir de modo rigoroso os elementos construtivos e envidraçados, densidades de iluminação, ocupação, sistema de climatização e tratamento de ar, bem como o horário de funcionamento. A única variável não definida foi a densidade de equipamento genérico (ex. computadores, scâner, máquinas fotocopadoras, etc.), funcionando como parâmetro de calibração dos modelos computacionais aos consumos reais.

A realização deste trabalho pretende concluir que os consumos e custos com energia devem ser geridos de forma tão importante como matérias-primas, trabalho, etc., devendo a energia ser monitorizada, os seus consumos racionalizados, os consumidores consciencializados e os equipamentos e técnicas otimizadas.

**Palavras - chave:** Eficiência energética, Medição e Verificação, Medidas de Melhoria de Eficiência Energética, Simulação Calibrada.

## **Abstract**

The present work intends to present an approach to determine the reduction of energy costs of an existing building, without affecting the comfort of its occupants.

The energetic efficiency is a theme of growing importance in our society, not only due to international commitments, but also due to the prevention of energetic waste.

The increase of energetic costs has appealed to the rational use of energy in organizations, implying a permanent monitoring of their premises. Based in this methodology, energy efficiency improvement measures have emerged.

In this work, the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) will be followed, defining a set of methodologies and procedures of Measurement and Verification (M&V).

Measurement and Verification will allow to precisely determine the real saving in a premise using an energy management plan, increasing the levels of confidence of the energy efficiency improvement measures.

Option D of the IPMVP protocol will be applied (calibrated simulation) given the possibility it provides to estimate the saving through a simulation of the energy consumption of the whole premises, simulating the consumption before and after implementing the energy efficiency improvement measures.

In this work, Energy Plus was used with the interface design Builder as specific software of multizone dynamic simulation.

The computational model conceived was calibrated through the electrical consumption obtained through counting (utility invoices). In the end, the results were compared and the necessary equipment densities were estimated so that the total consumptions

simulated were inside a range of about 10% of the reality, which meets the IPMVP criterion of deviation for the monthly amount.

A field survey was conducted, comparing the data defined in the licensing project with the existing, which allowed to accurately define the constructive elements and windows, lighting density, occupation, air conditioning system and air treatment, as well as the working hours. The only non-defined variable was the generic equipment density (e.g. computers, scanner, copiers, etc.), which worked as a calibration parameter of the computational models to the real consumptions.

This work aims to conclude that energy consumption and cost must be managed in such important manner as raw materials, work, etc., the energy must be monitored, its consumption must be rationalized, the consumers must be made aware and the equipments and techniques must be optimized.

**Key words** – Energy efficiency, Measure and Verification, Energy efficiency improvement measures, Calibrated simulation

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>13</b>
<b>ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 – Revisão bibliográfica.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 – Justificação da seleção do caso de estudo.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 – Breve enquadramento regulamentar .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 – Breve descrição do conceito de Medição e Verificação (M&amp;V).....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 – Descrição sucinta do método.....</b>	<b>21</b>
<b>2 – OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 – Quantificação dos custos de energia evitados num edifício de serviços existente ....</b>	<b>21</b>
<b>3 – CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 – Descrição do Edifício .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 – Levantamento efetuado.....	25
<b>3.2 – Ocupação e horário de funcionamento.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 – Descrição da envolvente .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 – Paredes Exteriores .....	27
3.3.2 – Coberturas Exteriores.....	27
3.3.3 – Envidraçados .....	27
3.3.4 – Pavimentos sobre espaços interiores não aquecidos.....	28
3.3.5 – Paredes interiores.....	28
3.3.6 – Delimitação da envolvente .....	28
<b>3.4 – Descrição dos sistemas de climatização.....</b>	<b>31</b>
3.4.1 – Sistemas 1/2/3 .....	31
3.4.2 – Sistemas 4/5/6 .....	32
3.4.3 – Sistemas 7/8.....	32
<b>3.5 – Descrição dos sistemas de desenfumagem das caves.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6 – Descrição da iluminação interior e exterior .....</b>	<b>36</b>
<b>3.7 – Descrição de outros consumos (incluindo equipamentos).....</b>	<b>37</b>
<b>3.8 – Descrição das necessidades de ar novo (QAI).....</b>	<b>38</b>
<b>3.9 – Classe de eficiência energética.....</b>	<b>39</b>
<b>4 – SIMULAÇÃO DINÂMICA DO EDIFÍCIO.....</b>	<b>41</b>

<b>4.1 – Relativamente ao caso de estudo.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 – Implementação do modelo para o Design Builder .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 – Dados de entrada para a simulação .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 – Análise de resultados da Simulação .....</b>	<b>55</b>
4.4.1 – Necessidades de aquecimento.....	55
4.4.2 – Necessidades de arrefecimento.....	56
4.4.3 – Análise da simulação final .....	57
<b>4.5 – Simulação calibrada.....</b>	<b>58</b>
<b>4.6 – Tipo de análise e enquadramento regulamentar (ASHRAE 140, análise monozona vs multizona).....</b>	<b>59</b>
<b>4.7 – Limitações em relação à calibração do modelo .....</b>	<b>61</b>
<b>5 – MEDIDAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (MMEE).....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 – Potencial de poupança.....</b>	<b>63</b>
5.1.1 – Consumo em vazio .....	64
5.1.2 – Elevado Ganho Solar .....	65
<b>5.2 – Medição e Verificação: Justificação da opção .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 – Análise quantitativa da Medidas de Melhoria.....</b>	<b>66</b>
5.3.1.1 – Aplicação de Película de Controlo Solar .....	69
5.3.1.2 – Melhoria do isolamento térmico da cobertura.....	71
5.3.1.3 – Aplicação de cortinas interiores opacas .....	72
5.3.1.4 – Alteração da programação dos ventiladores das caves .....	72
5.3.1.5 – Substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED.....	73
<b>6 – Plano de medição e verificação.....</b>	<b>78</b>
<b>6.1 – Preparação do Plano M&amp;V .....</b>	<b>78</b>
<b>6.2 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS ESSENCIAIS.....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.1 – Objetivo .....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.2 – Opção do IPMVP .....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.3 – Período de referência.....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.4 – Período de reporte.....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.5 – Base para o ajuste.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.6 – Procedimento de análise .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.7 – Preços de energia .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.8 – Especificações dos equipamentos de medição.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.9 – Responsabilidades de monitorização .....</b>	<b>82</b>

<b>6.2.10 – Precisão esperada .....</b>	<b>83</b>
<b>6.2.11 – Orçamento .....</b>	<b>83</b>
<b>6.2.12 – Formato do relatório .....</b>	<b>83</b>
<b>6.2.13 – Garantia de qualidade.....</b>	<b>83</b>
<b>6.3 – Documento base para aferição do desempenho efetivo de cada MMEE .....</b>	<b>83</b>
<b>6.3.1 – Período de referência.....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.2 – Período de reporte.....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.3 – Orçamento.....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.4 – Precisão dos dados do contador .....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.5 – Garantia de qualidade.....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.6 – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética.....</b>	<b>85</b>
MMEE 4: Alteração da programação dos ventiladores das caves .....	86
MMEE 5: Substituição da iluminação fluorescente compacta por iluminação de alto rendimento LED .....	88
MMEE 6: Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor .....	91
<b>7 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
<b>8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1 – Poupança de energia e conceitos do IPMVP relacionados .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2 – Imagem satélite – Fonte Google Earth .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3 – Edifício Auto Jardim Loures - fachada principal .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 – Imagem satélite com a localização do edifício – Fonte Google Earth.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5 – Planta Piso 0.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 6 – Planta Piso 1.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7 – Planta Piso 2.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 8 – Corte AB .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 9 – Corte CD .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 10 – Zona técnica de AVAC .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 11 – Fotografia do ventilador de extração.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 12 – Edifício com iluminação ligada.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 13 – Imagem DXF .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 14 – Implementação do modelo tridimensional – alçado principal.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 15 – Alçado Sudoeste .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 16 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Activity” .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 17 – Design Builder – dados “reais” de entrada “Construction” .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 18 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Openings” .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 19 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Lighting” .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 20 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Avac” .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 21 – Resultados de perdas e ganhos térmicos no edifício – Simulação Real .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22 – Resultados de ganhos internos no edifício (simulação Real horária) .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 23 – Consumos Energéticos (kWh).....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24 – Consumo total (MWh). .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 25 – Consumo real de energia elétrica versus consumo estimado após calibração.....</b>	<b>59</b>

## Índice de tabelas

Tabela 1 – Correspondência entre pisos e zonas .....	24
Tabela 2 – Densidade ocupacional real .....	26
Tabela 3 – Características dos envidraçados .....	27
Tabela 4 – Climatização – Unidade Exterior VRV .....	31
Tabela 5 – Ventilação – Ar novo e Extração (edifício).....	34
Tabela 6 – Desenfumagem (3 caves).....	35
Tabela 7 – Potências e densidades iluminação do edifício .....	36
Tabela 8 – Densidade de equipamentos escritório .....	38
Tabela 9 – Caudal de ar novo.....	38
Tabela 10 – IEE Global .....	39
Tabela 11 – Classe energética.....	40
Tabela 12 – Economia de eletricidade anual no edifício (kWh).....	63
Tabela 13 – Resumo anual faturação de eletricidade do edifício .....	64
Tabela 14 – Comparativo resultados simulação Real das MMEE.....	69
Tabela 15 – Poupança de consumo associada à aplicação de lajetas .....	71
Tabela 16 – Investimento associado à aplicação de lajetas .....	71
Tabela 17 – Poupança de consumo associada à reprogramação dos ventiladores .....	72
Tabela 18 – Poupança energética anual .....	73
Tabela 19 – Características das lâmpadas Fluorescentes versus lâmpadas LED.....	74
Tabela 20 – Cálculos da densidade lâmpadas Fluorescentes versus lâmpadas LED.....	75
Tabela 21 – Poupança anual medida LED .....	76
Tabela 22 – Poupança associada à substituição das lâmpadas fluorescentes por LED .....	76
Tabela 23 – Investimento associado à substituição das lâmpadas Fluorescentes por LED.....	76
Tabela 24 – Poupança de consumo associada à utilização de extensões com interruptor. ....	77
Tabela 25 – Investimento associado à utilização de extensão com interruptor .....	77
Tabela 26 – Tabela resumo das MMEE a aplicar no Plano de M&V para o edifício .....	85
Tabela 27 – Densidade ventilação de desenfumagem das 3 caves.....	87
Tabela 28 – Características lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED .....	90
Tabela 29 – Densidade dos equipamentos escritório.....	93

## Abreviaturas e Simbologia

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COP – Coeficiente de Performance (razão entre as potências de calor e elétrica nominal)

D.B. – Design Builder

D.L. – Decreto Lei

EE – Eficiência Energética

IEE – Indicador de Eficiência Energética

ESE – Empresas de Serviços Energéticos.

EVO – Efficiency Valuation Organization

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MMEE – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética.

M&V – Medição e Verificação

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

VRV – Caudal de Refrigerante Variável (VRF – Variable Refrigerante Flow)

## **1 – Introdução**

### **1.1 – Revisão bibliográfica**

Com a necessidade de conhecer o estado da arte sobre o tema estudado, pesquisou-se informação existente até ao momento por outros autores.

Numa pesquisa geral acerca do tema em estudo, verificou-se a existência de alguns trabalhos com eles relacionados, embora de número ainda reduzido.

Dos vários artigos publicados, destaco alguns autores que trataram otimização energética em edifícios de serviços, a partir de medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE), recorrendo à simulação dinâmica, com recurso a um software para a modelação do comportamento térmico, calibrando o modelo a partir de dados energéticos obtidos, e analisando os seus resultados numa perspetiva de custos e benefícios (NUNES; LERER e CARRILHO, 2013; PARK, et al, 2013).

Por outro lado, (XIA e ZHANG, 2012), tratam o plano de medição ideal que garanta a precisão da medição esperada com um custo mínimo de medição, que é sempre de grande interesse para a medição e verificação (M&V). Neste trabalho, é construído um modelo de minimização do custo de medição para um projeto de M&V em eficiência energética (EE) de iluminação. O custo mínimo de medição da amostragem é decidido para se alcançar a precisão da medição desejada do projeto. Este modelo revela-se útil para os projetos de M&V. O plano de medição ideal a longo prazo, deverá ser projetado sempre no início de um projeto M&V, por um modelo que permita a minimização de custos de medição.

Relativamente ao desempenho técnico do equipamento AVAC, assegurado por procedimentos regulamentares, verifica-se que se tem tornado num ponto-chave para o controlo das necessidades de energia nos edifícios. A aplicação do IPMVP, e os resultados das quatro opções de cálculo (A, B, C e D) aplicados a um edifício de

serviços existente, fornece conselhos úteis para a empresa de serviços de energia (ESE) que pretenda determinar a opção mais adequada em termos de precisão, custo e velocidade de execução de acordo com os parâmetros disponíveis (medições, software) e a medida de poupança energética (GINESTET e MARCHIO, 2010).

## **1.2 – Justificação da seleção do caso de estudo**

Verifica-se que ainda são diminutos os estudos sobre a otimização energética, numa perspetiva de reabilitação, assim como não aparece suficientemente documentada e publicada, em termos de resultados obtidos, a aplicação de medidas de eficiência energética em edifícios.

Portugal beneficia de uma situação climática bastante favorável, não só para a aplicação deste tipo de estratégia no edificado já construído, como também no modo como se projeta, constrói e habita um novo edifício.

O caso de estudo é um edifício de serviços da empresa Auto Jardim do Algarve S.A., destinado à gestão de frota de um Rent-a-Car.

A realização deste trabalho vai permitir identificar o potencial de medidas que promovam a utilização da energia de uma forma mais racional. Esta análise deverá permitir quantificar o impacto económico e energético gerado pelas medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE). Para avaliar o potencial destas medidas utilizou-se um modelo computacional que permitisse efetuar a análise com o máximo rigor.

Para analisar as MMEE foi necessário indicar as características da instalação (área disponível, potência instalada, região de implantação, etc.), processar a informação das faturas do edifício para perceber qual o peso das necessidades energéticas (eletricidade) e avaliar o seu contributo para os custos de funcionamento. O programa vai calcular a quantidade de energia anual produzida com resolução horária para aquela instalação.

Numa perspetiva de reabilitação energética de edifícios de serviços, pretende-se, através da análise do caso de estudo, identificar MMEE.

Com base no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), procura-se analisar a potencialidade das medidas adotadas na melhoria da eficiência energética, tendo em especial atenção a garantia das condições de conforto.

Por fim, é apresentada a discussão dos resultados e as conclusões obtidas na análise deste caso de estudo.

### **1.3 – Breve enquadramento regulamentar**

A energia tornou-se, mais do que nunca, um recurso decisivo no desenvolvimento económico e social, sendo cada vez mais uma prioridade na agenda internacional, nacional e local, no que concerne à sua utilização eficiente e aos efeitos provocados pelas emissões de CO<sub>2</sub>. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo da sua cadeia de valor, desde que a energia é transformada, distribuída, comercializada e, mais tarde, quando é utilizada.

Neste sentido e na sequência das políticas europeias, Portugal têm vindo a implementar vários instrumentos políticos para promoção da eficiência energética em edifícios.

Foram utilizadas metodologias do anterior pacote regulamentar (D.L. 78/2006 de 4 de Abril, 79/2006 de 4 de Abril e 80/2006 de 4 de Abril) na obtenção de alguns resultados no presente trabalho.

Em termos legislativos, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), aprovado pelo **Decreto-Lei 79/2006**, de 4 de Abril, que engloba “*grandes edifícios de serviços existentes com uma área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>*”, tem como principal objetivo assegurar a eficiência energética dos edifícios de serviços,

impondo limites máximos ao consumo de energia em todo o edifício. Esta eficiência energética é assegurada fundamentalmente através da introdução de limites de potência de climatização tentando assim evitar sobredimensionamentos que estavam a começar a ser prática comum. Para além das necessidades térmicas máximas, o RSECE impõe valores mínimos de renovação do ar, estabelecendo limites para a concentração de algumas substâncias poluentes.

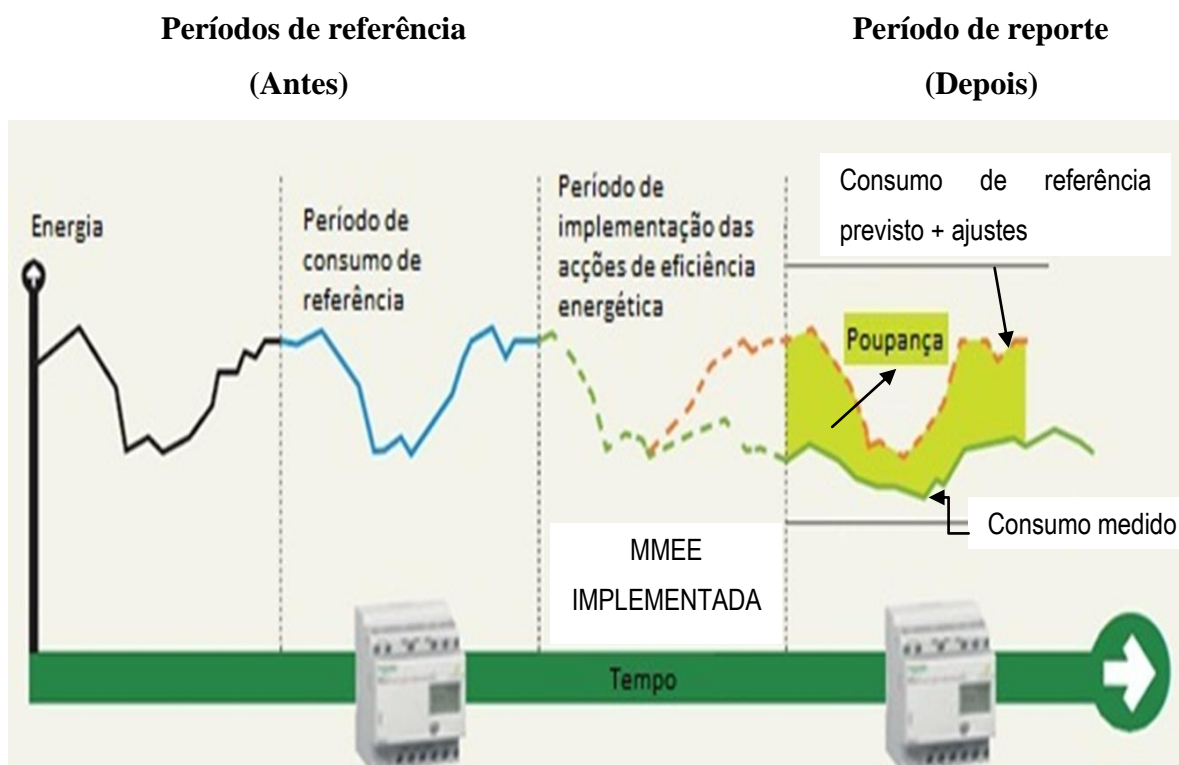
#### **1.4 – Breve descrição do conceito de Medição e Verificação (M&V)**

Medição & Verificação é um processo de utilização de medições para determinar corretamente a poupança real obtida numa instalação por um plano de gestão de energia.

Como é mostrado na figura 1, o processo de determinação de poupança consiste numa análise prévia dos consumos de energia que servem como base para a implementação das MMEE. É esta informação que permite determinar quais as medidas a adotar com o intuito de aumentar os níveis de eficiência energética no projeto.

A poupança pode ser assim calculada pela diferença entre o valor da medição no período de reporte e o consumo de referência que se pressupõem contínuos para o mesmo período. Contudo, a ocorrência de alterações na utilização de energia não relacionadas diretamente com a implementação das MMEE, quer por fatores externos (condições meteorológicas) ou por mudanças periódicas características ao consumo (redução dos níveis de produção), devem ser tomadas em consideração sendo necessário a realização de um ajuste no consumo do período de referência.

## PERÍODOS DE MEDIÇÃO



FONTE: CLUBS2E - CLUB DES SERVICES D'EFFICACITE ENERGETIQUE

**Figura 1** – Poupança de energia e conceitos do IPMVP relacionados

A poupança de energia de uma instalação determina-se pelo resultado obtido entre consumo energético verificado antes e o verificado após a aplicação das Medidas de Melhoria de Eficiência Energética (MMEE).

Estes consumos são designados de consumo de referência de energia (o primeiro) e de consumo do período de reporte da energia medida (o posterior).

A poupança decorrente do cálculo relativo ao período antes e após a aplicação das medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE) será a que resulta da equação seguinte:

$$\text{Poupança} = (\text{Consumo período de referência}) - (\text{Consumo período de reporte}) +/\text{-Ajustes}$$

Período de consumo de referência – é definido como o período de tempo considerado durante o funcionamento da instalação antes da implementação de uma MMEE.

Período de reporte – O período de reporte corresponde ao tempo que se segue à implementação de uma MMEE.

Efeitos interativos – São efeitos na energia criados por uma MMEE mas não medidos dentro da fronteira de medição.

Fatores estáticos – São características de uma instalação que afetam o consumo de energia, dentro da fronteira de medição escolhida, mas não usadas como base para os ajustes de rotina. Estas características incluem características fixas, ambientais, de funcionamento e de manutenção.

Fronteira de medição – É uma fronteira virtual estabelecida à volta dos sistemas para separar aqueles que são relevantes para a determinação da economia daqueles que não o são. Todos os consumos de energia do equipamento ou dos sistemas dentro da fronteira de medição devem ser medidos ou estimados.

Variável independente – É o parâmetro que se espera que varie regularmente e que tenha um impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação.

IPMVP prevê quatro opções (A, B, C e D) de Medição e Verificação (M&V), que são métodos diferentes e específicos de abordar e determinar os consumos e as poupanças obtidas pelos instrumentos de racionalização e eficiência energética.

Das quatro opções indicadas, a opção D - Simulação calibrada, será a opção aplicada, por permitir estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação.

## **1.5 – Descrição sucinta do método**

A opção D, simulação calibrada, consiste na aplicação de um software de simulação computadorizada para estimar a energia de toda a instalação tanto para o período de referência como para o período de reporte. Um método de simulação deve ser calibrado de modo a que a energia obtida corresponda aproximadamente aos dados reais e provenientes das faturas energéticas emitidas pelo fornecedor de energia.

A opção D pode ser utilizada para diferentes fronteiras de medição, desde a avaliação de desempenho de cada MMEE até à simulação da poupança de toda a instalação.

A poupança determinada com a Opção D baseia-se em uma ou mais estimativas complexas de consumo de energia. A precisão da poupança irá depender do bom desempenho dos modelos de simulação e da boa calibração do desempenho energético contabilizado.

## **2 – Objetivos**

### **2.1 – Quantificação dos custos de energia evitados num edifício de serviços existente**

Um edifício energeticamente eficiente assenta na adoção de um conjunto de técnicas que visem reduzir os consumos energéticos do edifício ao longo do seu ciclo de vida, garantindo ao mesmo tempo conforto aos seus ocupantes.

O presente trabalho tem por objetivo o estudo e análise térmico-energética do edifício de serviços existente, no Prior Velho, concelho de Loures, e de diferentes estratégias para melhoria do seu desempenho energético, por um plano de medição e verificação de acordo com as normas estabelecidas pela EVO e publicadas no Protocolo Internacional

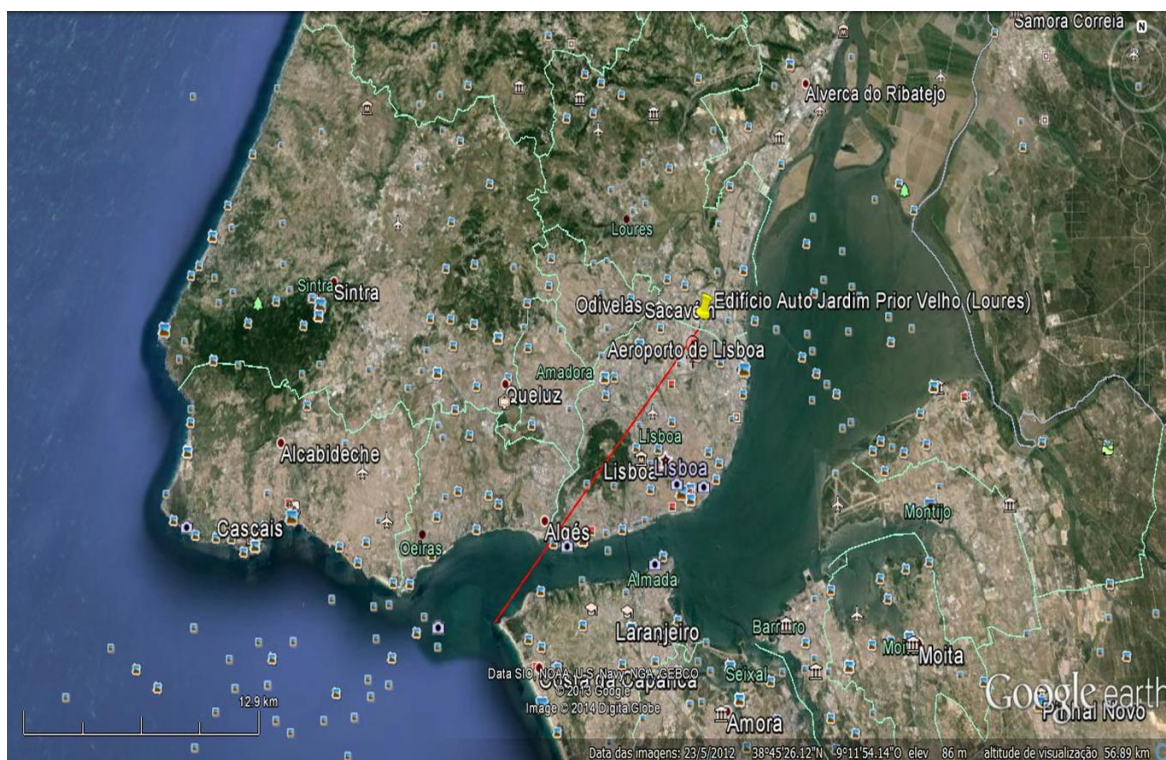
de Medição e Verificação do Desempenho Energético IPMVP, e tendo por base o programa de simulação dinâmica, Design Builder com Interface Energy Plus.

Pretende-se, assim, estimar a capacidade de redução dos consumos energéticos, resultante da implementação de medidas de melhoria da eficiência energética (MMEE) e a sua viabilidade em termos económicos.

### 3 – Certificação energética do edifício

#### 3.1 – Descrição do Edifício

O edifício de serviços pertence a uma empresa Rent-a-Car, localizada no Concelho de Loures, que se encontra situado nas imediações do aeroporto de Lisboa, na zona climática I1-V2 Sul, a uma altitude de 25 m e uma distância à costa marítima de 18 km.



**Figura 2** – Imagem satélite – Fonte Google Earth

O levantamento das áreas, para a implementação do modelo de simulação do edifício no software Design Builder, foram feitas através das plantas disponíveis em suporte informático, e com o auxílio do software AutoCAD.

O Edifício é composto por três pisos acima do solo, com uma área útil de 2014 m<sup>2</sup>, e três em cave, com uma área útil de 7144 m<sup>2</sup>.



**Figura 3** – Edifício Auto Jardim Loures - fachada principal

O Edifício tem a sua fachada principal orientada a SO sendo as restantes orientadas a NE, NO e SE.

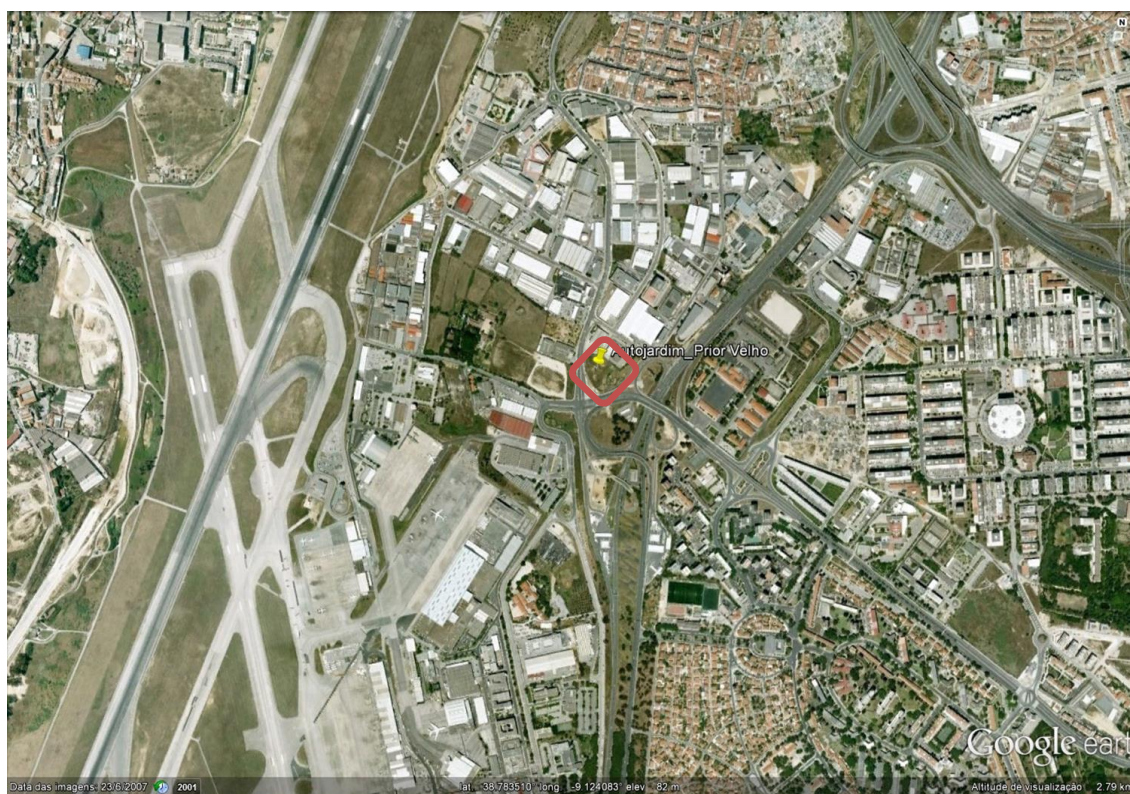
Na tabela seguinte estão descritas as zonas correspondentes aos pisos.

<b>EDIFÍCIO</b>		
<b>Pisos</b>	<b>Zonas</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
0	Oficina	2014
	Zona de exposição (Stand)	
	Escritórios frente - zona elíptica	
1	Escritório frente - zona elíptica	
	Escritório tardo - esquerdo	
	Escritório tardo - direito	
2	Escritório frente - zona elíptica	
-1 -2 -3	Caves (estacionamentos)	7144

**Tabela 1** – Correspondência entre pisos e zonas

Nestes seis pisos foram efetuados todos os levantamentos necessários para a implementação do modelo de simulação, nomeadamente envolvente, equipamentos, iluminação e climatização.

Para a simulação dinâmica do edifício não foi considerado qualquer obstáculo em torno do edifício, por se entender que os edifícios circundantes não interferem nos cálculos efectuados a nível de radiação solar.



**Figura 4** – Imagem satélite com a localização do edifício – Fonte Google Earth

### 3.1.1 – Levantamento efetuado

Para a implementação do modelo foi feito um levantamento dimensional a todo o Edifício.

Para simular no software DB existem uma série de parâmetros que têm de ser analisados e introduzidos para que a simulação se aproxime da realidade.

Para isso, foi feito um levantamento exaustivo ao Edifício, nomeadamente, envolvente (paredes exteriores e interiores, envidraçados e coberturas), climatização, iluminação e equipamentos.

Deste levantamento resultam características que serão depois introduzidas no modelo de simulação.

### 3.2 – Ocupação e horário de funcionamento.

O edifício está ocupado com 5 trabalhadores, com uma densidade de 0,016 pessoa/m<sup>2</sup>.

Ocupação permanente				
Piso	Nº de pessoas	Área de escritório (m <sup>2</sup> )	Densidade de ocupação	
			pessoa/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /pessoa
0	4	153,50	<b>0,016</b>	64,12
1	1	167,1		
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>320,60</b>		

**Tabela 2** – Densidade ocupacional real

O edifício tem um horário de funcionamento todos os dias, das 8h00 às 20h00.

### 3.3 – Descrição da envolvente

No caso do edifício em estudo, tratando-se de um edifício existente, no âmbito do RSECE, não existe qualquer limitação dos coeficientes de condutibilidade térmica dos elementos construtivos, o mesmo não é verdade para edifícios novos, para os quais o Regulamento impõe limites máximos.

O levantamento dos elementos definidos no projeto ao nível da envolvente do edifício permitiu caracterizar do ponto de vista físico e térmico os elementos construtivos opacos (paredes, pavimentos e coberturas) e não opacos (envidraçados).

São definidas as delimitações da envolvente regulamentar, confrontando as descrições definidas no projeto de licenciamento com o existente.

### 3.3.1 – Paredes Exteriores

As paredes exteriores do edifício são de pano duplo de alvenaria de tijolo furado, cuja espessura é de 0,11 m no exterior e 0,15 m no interior. Caixa-de-ar de 0,04 m de espessura preenchida totalmente com isolamento térmico do tipo “Wall Mate” em placas. O coeficiente de transmissão térmica é de  $0,44 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{K}$

### 3.3.2 – Coberturas Exteriores

A cobertura exterior é horizontal do tipo “invertida” constituída por laje maciça com isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido em placas com 40 mm de espessura, com camada de forma com 0,10 m de espessura. O coeficiente de transmissão térmica é de  $0,56 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{K}$

### 3.3.3 – Envidraçados

Os envidraçados do edifício são de caixilharia metálica em alumínio termolacado, com boa estanquicidade ao ar, com vidro duplo reflectante escuro (8 + 8 mm de espessura) com câmara-de-ar de 12 mm de espessura, e com proteções solares interiores em cortinas semitransparentes.

O coeficiente de transmissão térmica e o fator de proteção solar são definidos na tabela 3, de acordo com as fichas técnicas do fabricante.

<b>Envidraçados</b>	<b>Coeficiente de transmissão térmica (U)</b>	<b>Fator solar</b>
Zona elíptica (pisos 0, 1 e 2)	$1,6 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$	0,30
Zona de exposição (pisos 0)	$2,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$	0,39
Zona oficial (pisos 0) + Zona tardoz (pisos 1)	$1,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$	0,54

**Tabela 3 – Características dos envidraçados**

### 3.3.4 – Pavimentos sobre espaços interiores não aquecidos

O pavimento sobre espaço interior não tratado apresenta uma estrutura resistente em blocos de betão, cujo coeficiente de transmissão térmica é de  $1,90 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ .

### 3.3.5 – Paredes interiores

As paredes interiores do edifício são paredes simples de alvenaria de tijolo duplex com 22 mm de espessura, sem isolamento. O coeficiente de transmissão térmica é de  $1,25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ .

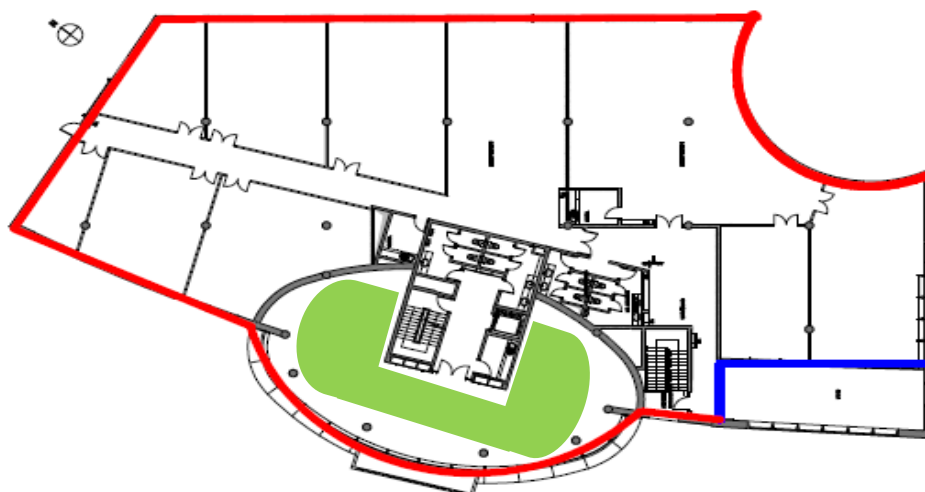
### 3.3.6 – Delimitação da envolvente

#### LEGENDA:

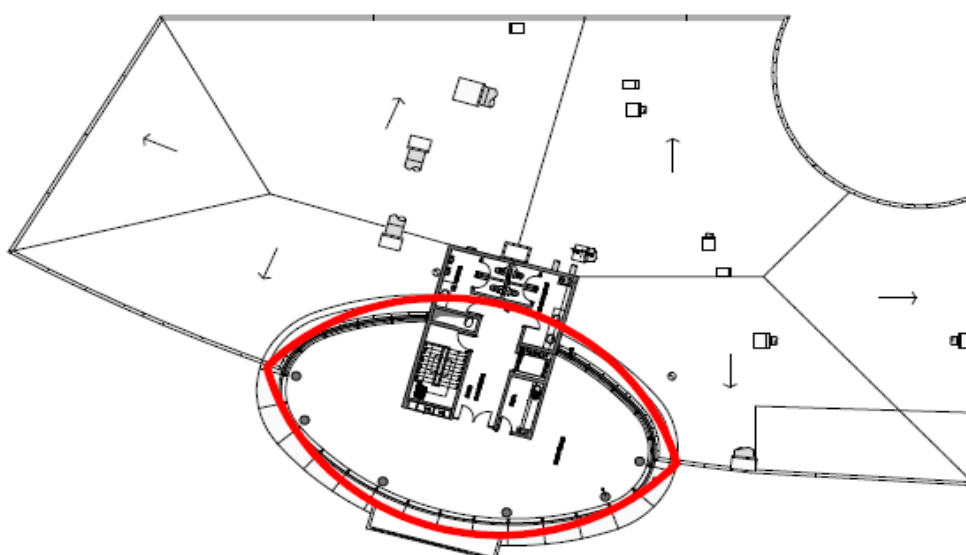
- ENVOLVENTE EXTERIOR
- ENVOLVENTE INTERIOR SEM REQUISITOS
- ZONAS OCUPADAS



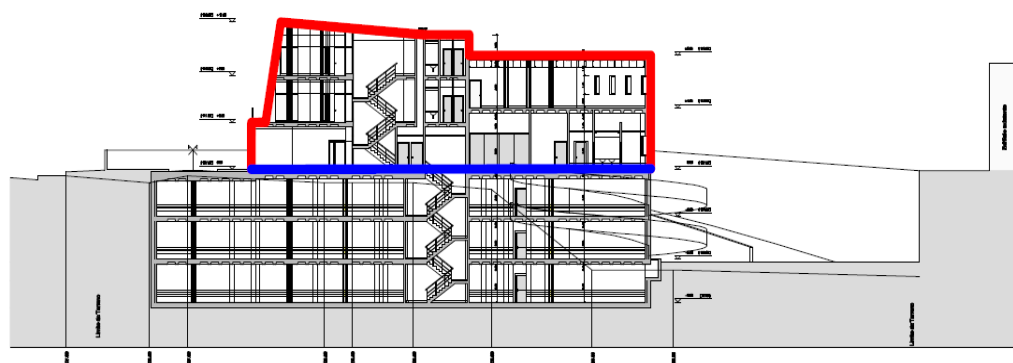
Figura 5 – Planta Piso 0



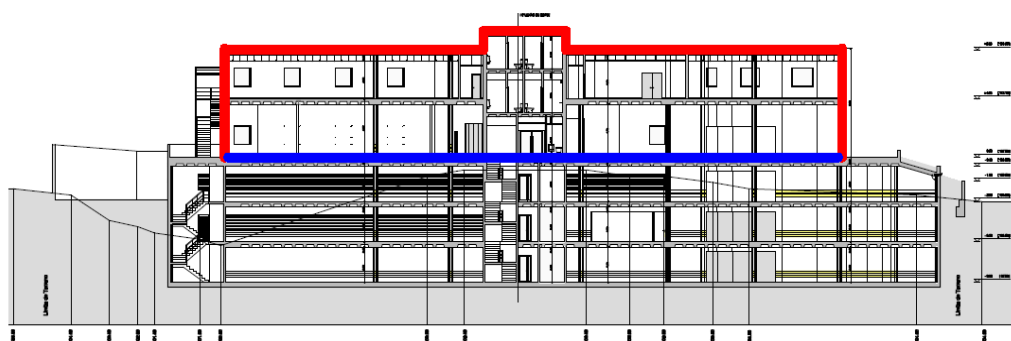
**Figura 6 – Planta Piso 1**



**Figura 7 – Planta Piso 2**



**Figura 8 – Corte AB**



**Figura 9 – Corte CD**

### 3.4 – Descrição dos sistemas de climatização

Neste edifício, foram considerados vários sistemas de climatização que funcionam independentemente uns dos outros, de acordo com a tabela 4.

Piso	Zonas do Edifício	Sistemas	COP	EER
0	Receção	1	3,52	4,07
	Atrium			
	Escritório frente esquerdo e direito (zona elíptica)			
	Stand	7	3,52	4,07
	Oficina	8	3,68	3,68
1	Escritório frente (zona elíptica)	2	3,52	4,07
	Atrium			
	Escritório tardoz direito	4	3,61	4,25
	Escritório tardoz esquerdo	5 e 6	3,52	4,07
2	Escritório frente	3	3,52	4,07

**Tabela 4** – Climatização – Unidade Exterior VRV

#### 3.4.1 – Sistemas 1/2/3

Servem as diversas áreas de escritórios na zona elíptica, e são constituídos por sistemas de Volume de Refrigerante Variável do tipo Bomba de Calor a três tubos (um sistema para cada piso), constituindo cada um deles uma unidade exterior e diversas unidades interiores do tipo cassete de duas e quatro vias.

Paralelamente, existe um sistema de renovação de ar ambiente, composto por um ventilador de ar novo e por uma rede de condutas. O ar viciado será captado por válvulas de extração ligadas a redes de condutas e ventilador, que farão a sua descarga para o exterior.

### **3.4.2 – Sistemas 4/5/6**

Servem as diversas áreas de escritórios do piso 1 e zona tardoz, e são constituídos por sistemas de Volume de Refrigerante Variável do tipo Bomba de Calor a três tubos constituindo cada um deles por uma unidade exterior e diversas unidades interiores do tipo cassete de duas e quatro vias.

Paralelamente, existe um sistema de renovação de ar ambiente, composto por um ventilador de ar novo e uma rede de condutas. O ar viciado será captado por válvulas de extração ligadas a redes de condutas e ventilador, que farão a sua descarga para o exterior.

### **3.4.3 – Sistemas 7/8**

Servem a zona tardoz do piso 0 (zona de exposição), constituído por sistemas de Volume de Refrigerante Variável do tipo Bomba de Calor a três tubos constituindo cada um deles por uma unidade exterior e diversas unidades interiores do tipo cassete de duas e quatro vias.

Paralelamente, existe um sistema de renovação de ar ambiente, composto por um ventilador de ar novo e uma rede de condutas. O ar viciado será captado por válvulas de extração ligadas a redes de condutas e ventilador, que farão a sua descarga para o exterior.

Encontram-se instaladas cortinas de ar no acesso a este espaço a partir da rampa, para minimizar as perdas térmicas para o exterior.

Na outra zona tardoz do piso 0 (zona de preparação), o sistema é constituído por um ventilador centrífugo em caixa equipado com filtro de ar, localizado na cobertura do edifício. Esta unidade fará a admissão de ar novo necessário a uma correta higienização do espaço do ar total, que posteriormente será encaminhado para a oficina através de

redes de condutas a baixa pressão do tipo têxtil. Junto ao teto serão ainda instalados condutas e grelhas de extração.

Paralelamente a este sistema será instalada uma rede de condutas e grelhas de extração ligadas a um ventilador

A zona técnica de AVAC está instalada na cobertura do edifício.



**Figura 10** – Zona técnica de AVAC

A tabela seguinte resume as potências absorvidas dos ventiladores de ar e de extração do edifício.

	Ventiladores	Zonas	Potência absorvida	Área	Densidade
<b>Ar novo</b>	VAN-1	Zona oficial - piso 0	<b>2,79 kW</b>	<b>2014 m<sup>2</sup></b>	<b>2,7 W/ m<sup>2</sup></b>
	VAN-2	Escritórios nos pisos frente 0, 1 e 2 (zona elíptica)			
	VAN-3	Escritório piso 1, Escritório zona tardoz esquerda			
	VAN-4	Escritório piso 1, Escritório zona tardoz direita			
	VAN-5	Escritórios piso 0 e zona de exposição			
<b>Extração</b>	VE-1	Extração das Instalações Sanitárias dos pisos - 1 e - 2	<b>2,65 kW</b>		
	VE-2	Extração zona de preparação piso 0			
	VE-3	Extração geral dos escritórios			
	VE-4	Extração das instalações sanitárias			
	VE-5	Extração das Instalações Sanitárias da zona oficial			
	VE-6	Extração geral dos escritórios piso 1 - zona esquerda			
	VE-7	Extração geral dos escritórios piso 1 - zona direita			
	VE-8	Extração geral da zona de exposição piso 0			

**Tabela 5** – Ventilação – Ar novo e Extração (edifício)

### 3.5 – Descrição dos sistemas de desenfumagem das caves

Nas três caves a rede de extração será constituída por uma rede de condutas e grelhas de extração/desenfumagem, colocadas junto ao solo e junto ao teto, de modo a poderem ser captados tantos os gases mais leves como os mais pesados que o ar.

As condutas serão ligadas a ventiladores do tipo axial de conduta, responsáveis pela descarga desses gases para o exterior, funcionando também para efetuar desenfumagem, pelo que, deverão suportar uma temperatura de 200 °C durante duas horas.

O arranque destes ventiladores será efetuado na velocidade baixa a partir do sinal enviado por um controlador horário previamente programado, para arrancar algum tempo antes da hora de ponta matinal. Durante todo o dia as velocidades dos ventiladores serão comandadas pelo sistema de deteção de CO que dará ordem à 1.<sup>a</sup> velocidade sempre que os níveis excedam os 50 ppm ou à 2.<sup>a</sup> velocidade se os níveis subirem acima dos 100 ppm. Algum tempo antes da hora de ponta do final do dia serão novamente comandados a partir do controlador horário.

Além disso, em caso de incêndio, estes ventiladores serão comandados diretamente pela central de deteção de incêndio que se sobrepõe a quaisquer outros controlos existentes, que porá em funcionamento a 2.<sup>a</sup> velocidade dos ventiladores de extração que servem o piso em incêndio e os ventiladores de insuflação dos pisos adjacentes, inibindo o funcionamento de todos os outros ventiladores de admissão e extração dos pisos de estacionamento.

A admissão do ar é feita através do ventilador de insuflação das rampas de acesso das viaturas ao estacionamento e ainda pelas coberturas naturais previstas pela arquitetura.

Existirão ainda quatro ventiladores para a pressurização, em caso de incêndio, das escadas de acesso aos estacionamentos e hall dos elevadores.

Na tabela seguinte, temos a densidade do sistema de desenfumagem das caves.

Ventiladores extração	Potência absorvida	Área 3 caves	Densidade
VD 1 a VD 12	1. <sup>a</sup> Velocidade - 2.5 kW	7144 m <sup>2</sup>	<b>4,20 W/ m<sup>2</sup></b>
	2. <sup>a</sup> Velocidade - 9 kW		

**Tabela 6** – Desenfumagem (3 caves)



**Figura 11** – Fotografia do ventilador

### 3.6 – Descrição da iluminação interior e exterior

Foi efetuado um levantamento exaustivo à iluminação existente em todo edifício.

Na tabela 6, temos uma potência instalada em iluminação no edifício de 24,7 kW, correspondendo a uma densidade de 12,26 W/m<sup>2</sup>, nas 3 garagens a potência é de 22,27 kW, correspondendo a 3,12 W/m<sup>2</sup>

	Área	Potência	Densidade
<b>Edifício</b>	2014 m <sup>2</sup>	24685 W	<b>12,26 W/m<sup>2</sup></b>
<b>Caves</b>	7144 m <sup>2</sup>	22272 W	<b>3,12 W/m<sup>2</sup></b>

**Tabela 7** – Potências e densidades iluminação do edifício

Nas zonas exteriores do complexo, temos uma potência de 1000 W de iluminação.



**Figura 12** – Edifício com iluminação ligada

### **3.7 – Descrição de outros consumos (incluindo equipamentos)**

Foi efetuado o levantamento da potência instalada em equipamentos referentes aos escritórios, nomeadamente (computadores, monitores, impressoras, faxes, aparelhagem), tendo-se verificado que a potência instalada em equipamentos de escritório no edifício é de 2,2 kW, correspondendo a 6,9 W/m<sup>2</sup>.

Equipamentos				
Tipo	N.º	Potência (W)	Total W)	Densidade (W/m <sup>2</sup> )
Conjunto computador + monitor	4	450	1800	
Aparelhagem	2	160	320	
Fax	1	10	10	
Impressora	4	15	60	
Scâner	2	15	30	
<b>Total</b>			<b>2220</b>	

**Tabela 8** – Densidade de equipamentos escritório

### 3.8 – Descrição das necessidades de ar novo (QAI)

A tabela seguinte resume os cálculos do projeto.

Projeto					
Edifício	Ocupação n.º pessoas	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal ar novo (m <sup>3</sup> /h)	[m <sup>3</sup> /(h.ocupante)]	[m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]
<b>Piso 0</b>					
Oficina	25	398,3	5000	333	13
Stand (zona exposição)	15	440,5	1200	80	3
Escritórios fr. (elíptica)	40	153,5	1400	35	9
<b>Piso 1</b>					
Escritório fr. (elíptica)	30	167,1	1400	47	8
Escritório tardoz – esq.	25	482,8	1900	76	4
Escritório tardoz – dir.	15	295,5	1300	87	4
<b>Piso 2</b>					
Escritório fr. (elíptica)	30	167,1	1400	47	8

**Tabela 9** – Caudal de ar novo

Foi projetado para as caves um caudal de ar por veículo, em regime normal de 300 m<sup>3</sup>/h, e em regime de desenfumagem de 600 m<sup>3</sup>/h, para uma ocupação total de 237 veículos.

### 3.9 – Classe de eficiência energética

A partir da simulação em condições nominais, determinou-se um IEE global para o edifício de 15,51 kgep/ m<sup>2</sup>ano, de acordo com a tabela 9.

	kgep/m <sup>2</sup> ano
IEEaquecimento	0,15
IEEarrefecimento	0,57
IEEiluminação	4,74
IEEout	10,05
Total	15,51

**Tabela 10 – IEE Global**


O Indicador de Eficiência Energética global é denominado de IEE nominal, e deverá ser analisado à luz do valor limite aplicável para edifícios existentes, constante no D.L. n.º 79/2006 de 4 de Abril, Anexo X, que é de 40 kgep/m<sup>2</sup>.ano. Este valor designa-se por IEE de referência.

A classificação energética de edifícios de serviços (grandes ou pequenos com sistemas de climatização superior ou igual a 25 kW de potência instalada, como é o caso) é determinada em função dos seguintes valores:

- IEE<sub>nom</sub> – o IEE nominal obtido por simulação dinâmica (15,51 kgep/m<sup>2</sup>.ano);
- IEE<sub>ref</sub> – o IEE de referência para a tipologia (40 kgep/m<sup>2</sup>.ano);

- S – Os valores de S estão tabelados por tipologia e constam do Anexo IV do Despacho n.º 10250/2008. Para este edifício, S toma o valor de 15 kgep/m<sup>2</sup>.ano. Este parâmetro é obtido pela soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limites de referência para edifícios existentes que constam no regulamento.

A conjugação das variáveis referidas no ponto anterior para determinação da classe energética deverá ser feita com recurso à tabela apresentada de seguida, sendo a classe a atribuir aquela que corresponder à condição verdadeira verificada numa escala de 9 classes possíveis.

		Classe Energética	Condição a verificar	Limite superior (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Existentes</b>	<b>Novos</b>	A+ 	$IEEnom \leq IEeref,novos - 0,75 \times S$	23,8
		A	$IEeref,novos - 0,75 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos - 0,50 \times S$	27,5
		B	$IEeref,novos - 0,50 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos - 0,25 \times S$	31,3
		B-	$IEeref,novos - 0,25 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos$	35
		C	$IEeref,novos < IEEnom \leq IEeref,novos + 0,50 \times S$	42,5
		D	$IEeref,novos + 0,50 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos + 1,00 \times S$	50
		E	$IEeref,novos + 1,00 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos + 1,50 \times S$	57,5
		F	$IEeref,novos + 1,50 \times S < IEEnom \leq IEeref,novos + 2,00 \times S$	65
		G	$IEeref,novos + 2,00 \times S < IEEnom$	

**Tabela 11 – Classe energética**

Da análise dos resultados anteriores, conclui-se que o edifício pertence à classe A+.

Dado o valor do IEE nominal do edifício ser inferior ao limite considerado para o IEE de referência, o edifício não necessitará de um Plano de Racionalização Energética.

Por último, importa salientar que esta classificação foi apenas efetuada para estudar o comportamento térmico do edifício numa condição nominal, não tendo qualquer valor legal, uma vez que a certificação energética apenas pode ser atribuída por Peritos Qualificados.

#### **4 – Simulação dinâmica do edifício**

A simulação dinâmica de um edifício em termos nominais tem por objetivo classificar o seu desempenho energético, sendo para tal necessário aplicar ao edifício em estudo um padrão de referência definido na legislação.

A aplicação deste padrão é necessária para se poder calcular o IEE nominal e posteriormente a classe de eficiência energética do edifício, permitindo comparar o edifício estudado com os edifícios de referência definidos na legislação.

De acordo com a legislação, a análise com vista a certificar os edifícios de serviços deverá ser efetuada nas condições nominais. Assim, todos os valores regulamentares terão de ser cumpridos, pelo que se considera que no período de Inverno a temperatura interior deve ser de 20 °C e no período de Verão a temperatura interior deve ser de 25 °C, para que sejam mantidas as condições de conforto térmico dos ocupantes.

É também objetivo da simulação a determinação dos consumos num determinado período, neste caso o período é de 1 ano.

A simulação dinâmica permite entre várias matérias:

- Identificar oportunidades de intervenção ao nível geral do Edifício, quer na envolvente, quer nos equipamentos instalados;
- Apresentar soluções para melhorar sistemas de climatização;
- Calcular em fase de projeto as cargas térmicas para os projetos de climatização;
- Integrar sistemas adicionais aos existentes;
- Dar cumprimento à legislação.

No edifício estudado o cálculo do IEE permitiu verificar a classe energética que poderá ser atribuída caso se avance para a Certificação Energética do Edifício.

O software escolhido para elaboração da Simulação Dinâmica foi o EnergyPlus ( $E+$ ) com a plataforma gráfica Design Builder.

O DesignBuilder é o primeiro interface gráfico de utilizador para o programa de simulação térmica dinâmica, o EnergyPlus ( $E+$ ). Aquele permite uma rápida e fácil introdução de geometrias, oferecendo um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

O EnergyPlus ( $E+$ ) é uma ferramenta para a modelação do comportamento térmico para a avaliação do desempenho do edifício, que permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar o seu consumo de energia. Foi criado a partir dos programas BLAST e DOE-2, desenvolvido e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, em colaboração com diversos investigadores de vários países, que permite desenvolver estudos de eficiência energética em edifícios existentes ou em fase de projeto.

Relativamente a outras ferramentas disponíveis, o EnergyPlus ( $E+$ ) destaca-se por apresentar maior rigor na modelação da geometria do edifício (incluindo sombreamento e reflexão da luz por edifícios adjacentes), e na integração de modelos que facilitam os

estudos de otimização energética (iluminação natural e artificial com *dimmers*, sistemas de ventilação natural e híbrida, superfícies radiantes, painéis solares, etc.).

É um motor de simulação que pode ser utilizado com diferentes interfaces e ferramentas de análise de resultados. Foi desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “time-step” de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar, etc.).

O output do programa é efetuado através de gráficos e tabelas, sendo possível a escolha do tipo de informação que se obtém após a simulação.

Para tratamento dos dados climáticos é utilizado o software *Solterm*, desenvolvido pelo LNEG, ex-INETI, especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal.

O *Solterm* apresenta um banco de dados de climas, contendo anos meteorológicos de referência para 308 Concelhos de Portugal. O banco de dados climáticos presentes no *Solterm* para diferentes concelhos de Portugal, pode ser utilizado para gerar ficheiros climáticos.

O Design Builder vai converter os dados climáticos da base de dados do programa *Solterm* para o formato utilizado na simulação dinâmica detalhada do EnergyPlus (.epw).

#### **4.1 – Relativamente ao caso de estudo**

Para a realização deste trabalho foi utilizado o software D.B de simulação dinâmica multizona, podendo prever a energia consumida na instalação tanto para o período de referência como para o período de reporte.

Para esse efeito, foi construído um modelo baseado nos dados existentes acerca do edifício, e do levantamento efetuado ao nível dos equipamentos e sistemas de climatização neles instalados.

A recolha de informação permitiu aglutinar os seguintes elementos:

- Plantas de arquitetura do edifício;
- Projetos de climatização e luminotecnia;
- Horários de utilização dos espaços;
- Ocupação, iluminação e equipamentos existentes;
- Histórico dos consumos de energia, através da compilação de faturas energéticas de um ano de utilização do edifício;
- Outras informações arquiteturais relevantes.

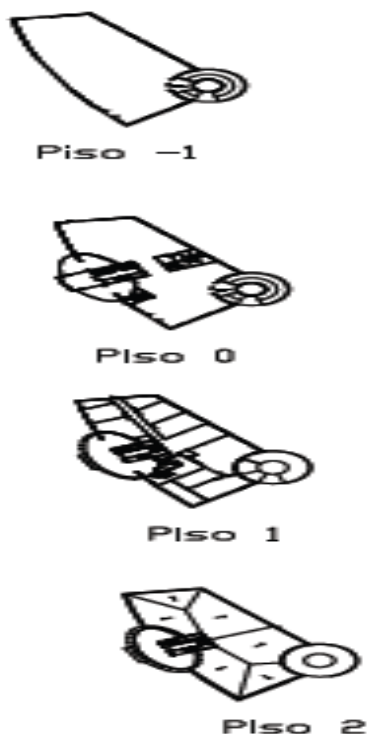
Foi construído um modelo de simulação real, incluindo caracterização das construções e sistemas. Posteriormente foi calibrado (validado) o modelo de simulação, utilizando as condições reais de funcionamento e verificando a concordância dos consumos energéticos previstos por simulação com os consumos reais registados em anos anteriores.

Foi igualmente construído um modelo de simulação do edifício em condições nominais, utilizando o modelo calibrado na fase anterior, e considerando agora os padrões nominais (densidades e horários) previstos na legislação, com estimativa das várias

componentes de consumo de energia no edifício. Foi feito o cálculo dos Indicadores de Desempenho Energético e determinação da classe energética do edifício

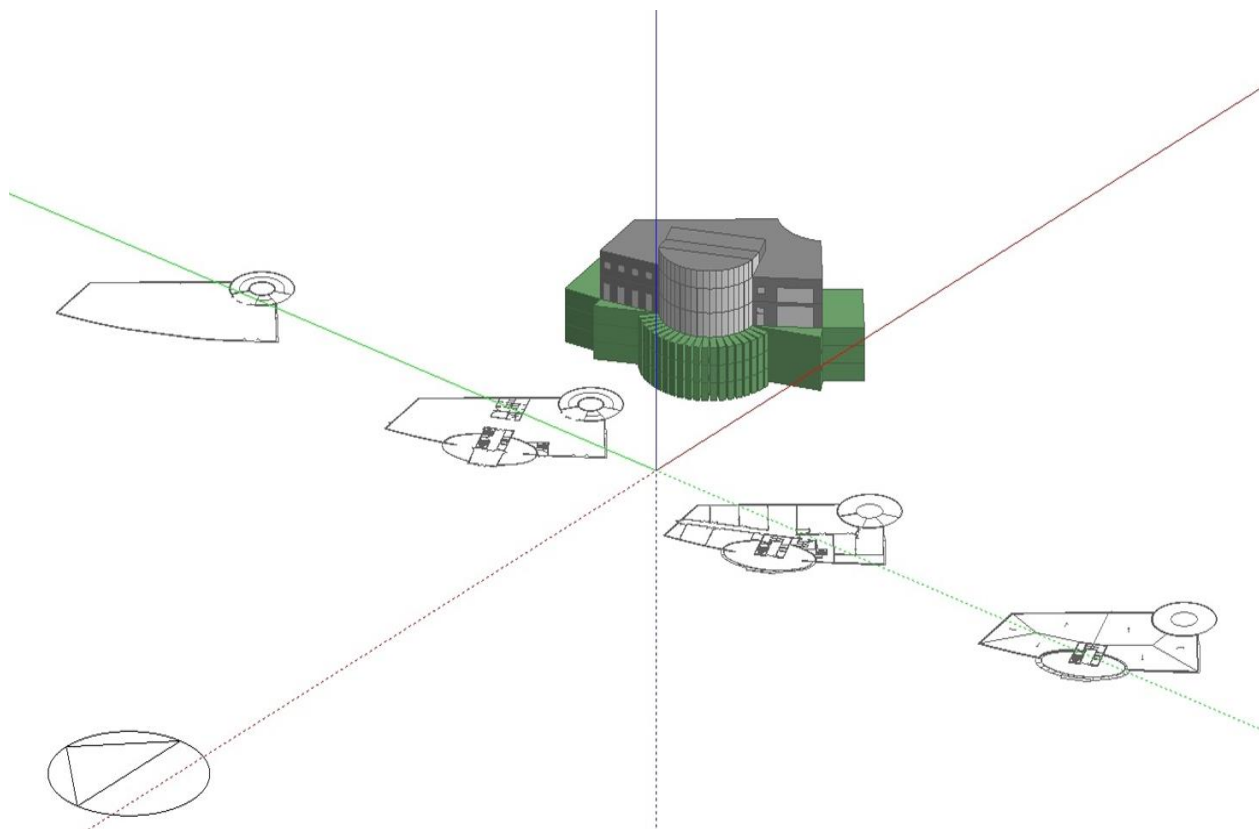
## 4.2 – Implementação do modelo para o Design Builder

Para a implementação do modelo, o ponto de partida é a arquitetura. Foi feita a importação da arquitetura em formato DXF do software AutoCAD para o modelo de simulação.



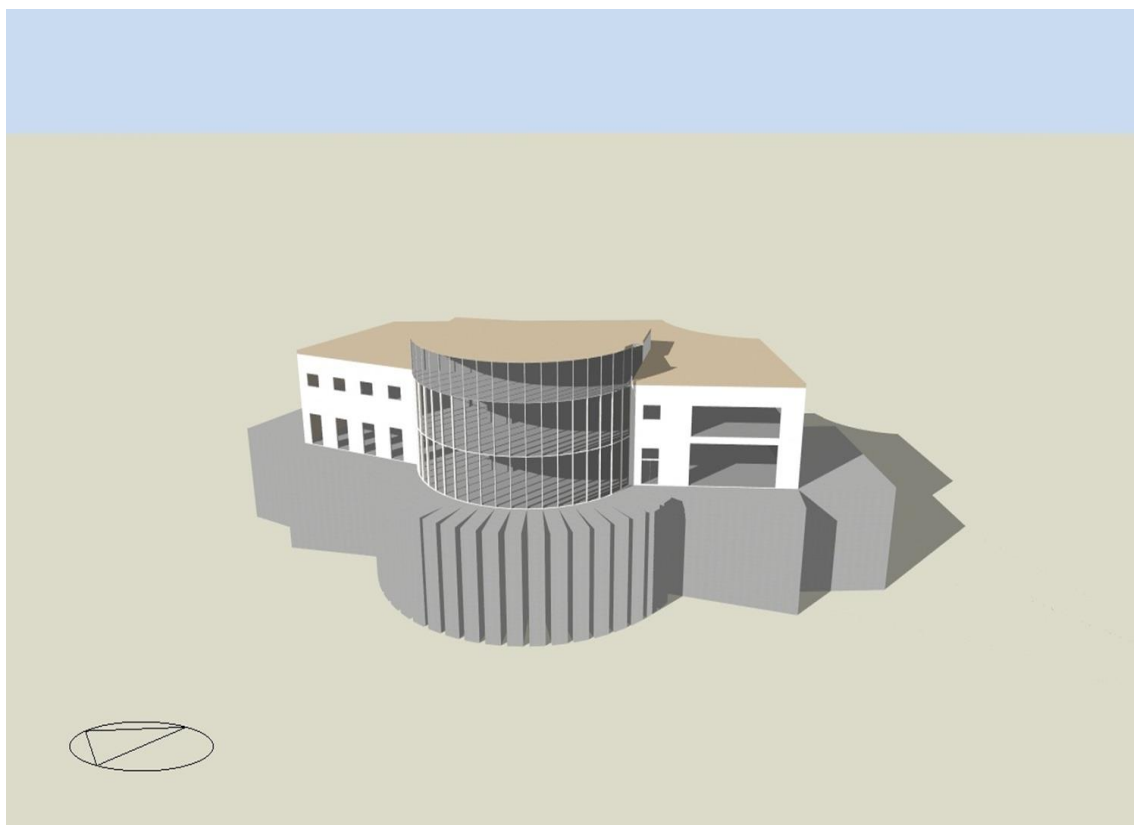
**Figura 13** – Imagem DXF

Em seguida é elaborado o modelo tridimensional como se pode observar na figura 14.



**Figura 14** – Implementação do modelo tridimensional – alçado principal

De modo a ser possível uma melhor visualização da implementação do modelo tridimensional, o software possui um módulo que nos permite de uma forma mais real observar o edifício e seus respetivos alçados.



**Figura 15** – Alçado Sudoeste

### **4.3 – Dados de entrada para a simulação**

Através da construção de um modelo computacional, foi possível prever o consumo de energia da instalação, a partir da aplicação de medidas de melhoria de eficiência energética.

A execução do modelo para ser aplicada a simulação calibrada, foi efetuada de acordo com os seguintes passos:

1. Recolha de todos os dados relativos ao edifício, desde plantas arquitetónicas, ocupação, equipamentos de escritório, iluminação, climatização, ventilação, desenfumagem e programação da operação;

2. Modelação dos dados no software e execução do modelo, modelando os dados no Design Builder e executando o simulador para verificar sua capacidade de prever o consumo de energia;
3. Calibrar o modelo de simulação, comparando os consumos simulados com os dados de consumo da factura energética, e comparando os dados simulados com os valores medidos;
4. Ajustar o modelo, isto no caso dos indicadores de erro calculados nos passos anteriores não estarem suficientemente calibrados, revendo os dados de entrada do modelo e fazendo novas comparações entre valores simulados versus valores reais;
5. Calcular a energia economizada, usando o modelo de simulação calibrada para determinar o consumo antes da aplicação das medidas de melhoria de eficiência energética.

A simulação do edifício em condições nominais utiliza o modelo calibrado na fase anterior, considerando agora os padrões nominais (densidades e horários) previstos na legislação, com estimativa das várias componentes de consumo de energia no edifício. Esta tem como objetivo classificar o edifício segundo seu desempenho energético, sendo para tal necessário aplicar ao edifício em estudo um padrão de referência definido no D.L. 79/2006 de 4 de Abril.

A aplicação deste padrão é necessária para se poder calcular o IEE nominal e posteriormente a classe de eficiência energética do edifício, já que só assim será possível comparar o edifício estudado com o (s) edifício (s) de referência definido (s) na legislação.

Para isso, foi construído o modelo tridimensional, anteriormente explicado, onde foram colocadas todas as dimensões do mesmo e delimitadas as áreas que se consideraram importantes de modo a construir o modelo.

Posteriormente introduziram-se todas as características do Edifício consideradas relevantes que condicionam o comportamento térmico do Edifício.

O output do programa é efetuado através de gráficos e tabelas, sendo possível a escolha do tipo de informação que se obtém após a simulação.

O software utilizado, Design Builder, é um software que dispõe de bibliotecas com predefinições que facilitam a implementação de dados no programa. Estas vão desde dados climatéricos, construtivos, perfis de utilização, entre outros.

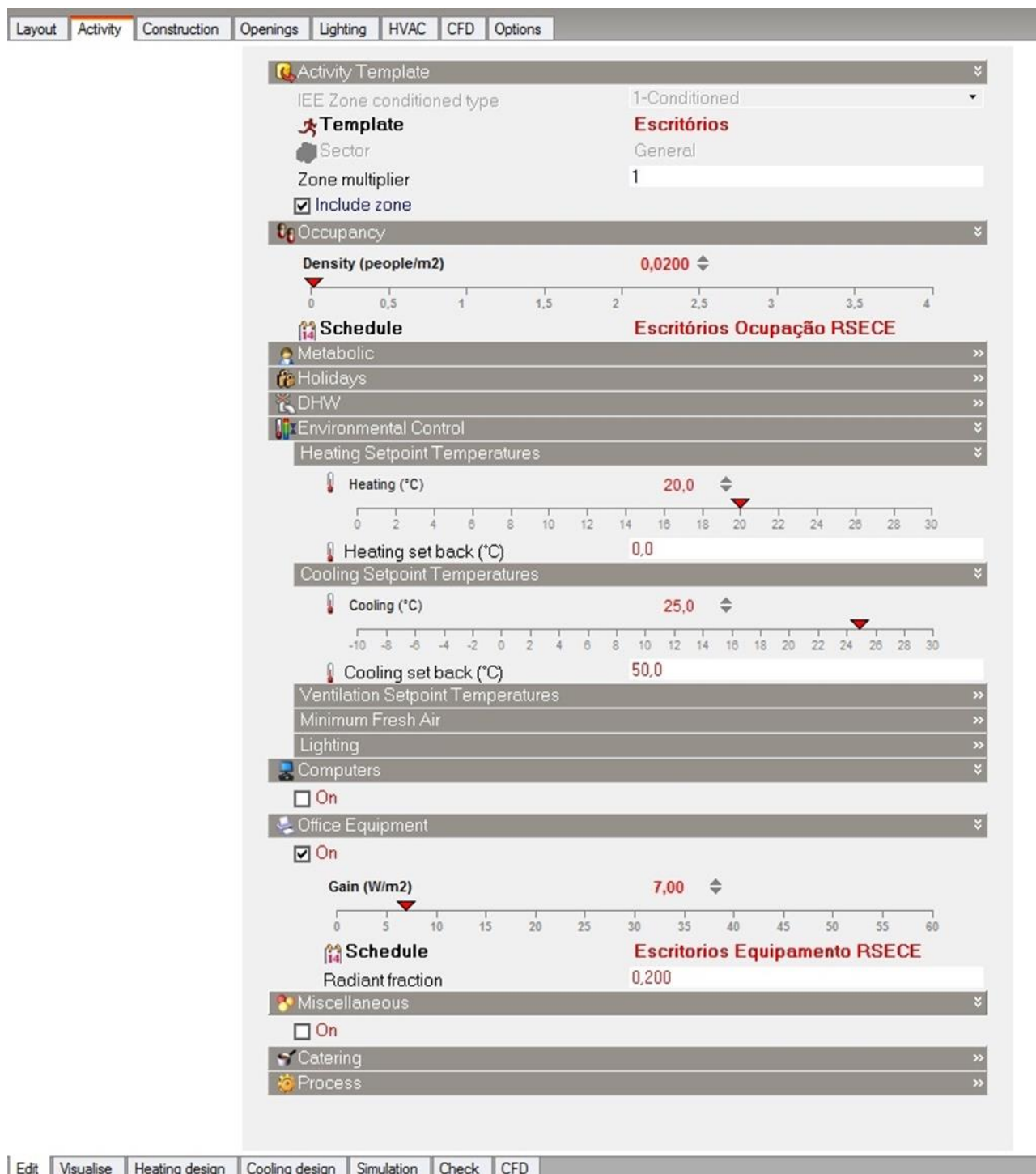
A implementação de dados do edifício em geral é feita através de cinco separadores:

- *Activity* – dados referentes ao tipo de atividade realizada em determinada zona -  
Exemplo: horário e densidade de ocupação, densidade de iluminação, etc.;
- *Construction* – dados referentes ao tipo de construção e materiais;
- *Openings* – dados referentes a aberturas no edifício. Exemplo: janelas, portas, tipo de vidro, etc.;
- *Lighting* – dados referentes à iluminação. Exemplos: tipo de iluminação, horário, etc.;
- *HVAC* – dados referentes aos equipamentos de climatização, ventilação natural.  
Exemplos: energia auxiliar utilizada nos equipamentos de AVAC, tipo de energia utilizado em cada caso, etc.

Os dados introduzidos serão trabalhados por forma a obter resultados quer em termos reais, que em termos nominais.

De seguida, e para melhor se compreender a introdução dos dados de entrada no D.B. em cada um dos separadores, mostra-se cada um deles separadamente.

“Activity Template”



The screenshot displays the 'Activity Template' configuration interface in Design Builder. The top navigation bar includes 'Layout', 'Activity', 'Construction', 'Openings', 'Lighting', 'HVAC', 'CFD', and 'Options'. The 'Activity' tab is active.

**Activity Template**  
 IEE Zone conditioned type: 1-Conditioned  
**Template:** Escritórios  
 Sector: General  
 Zone multiplier: 1  
 Include zone

**Occupancy**  
 Density (people/m2): 0,0200

**Schedule** *Escritórios Ocupação RSECE*  
 Metabolic  
 Holidays  
 DHW  
 Environmental Control

**Heating Setpoint Temperatures**  
 Heating (°C): 20,0  
 Heating set back (°C): 0,0

**Cooling Setpoint Temperatures**  
 Cooling (°C): 25,0  
 Cooling set back (°C): 50,0

Ventilation Setpoint Temperatures  
 Minimum Fresh Air  
 Lighting

**Computers**  
 On

**Office Equipment**  
 On  
 Gain (W/m2): 7,00  
**Schedule** *Escritorios Equipamento RSECE*  
 Radiant fraction: 0,200

**Miscellaneous**  
 On  
 Catering  
 Process

The bottom navigation bar includes 'Edit', 'Visualise', 'Heating design', 'Cooling design', 'Simulation', 'Check', and 'CFD'.

Figura 16 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Activity”

“ Construction Template “

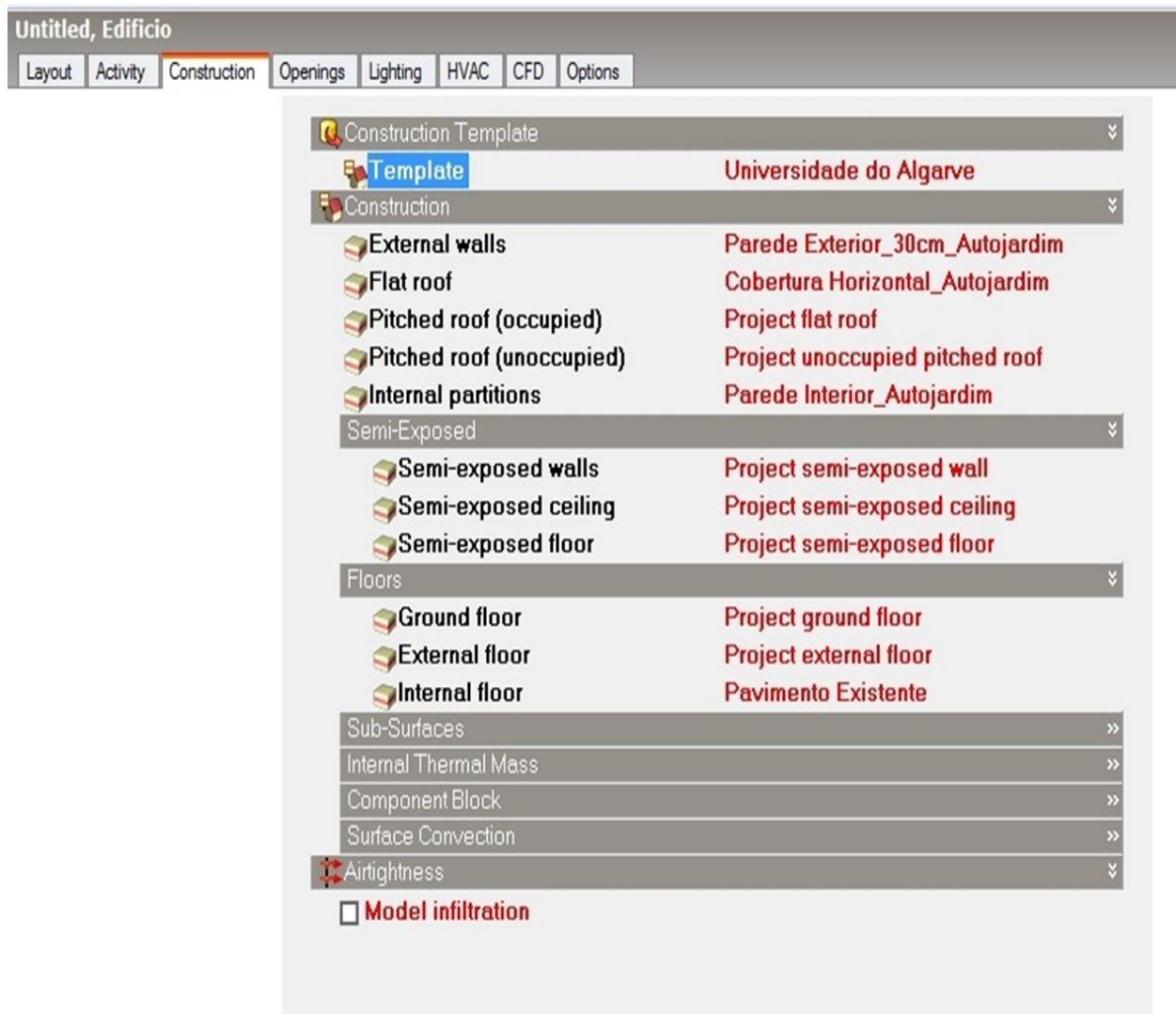
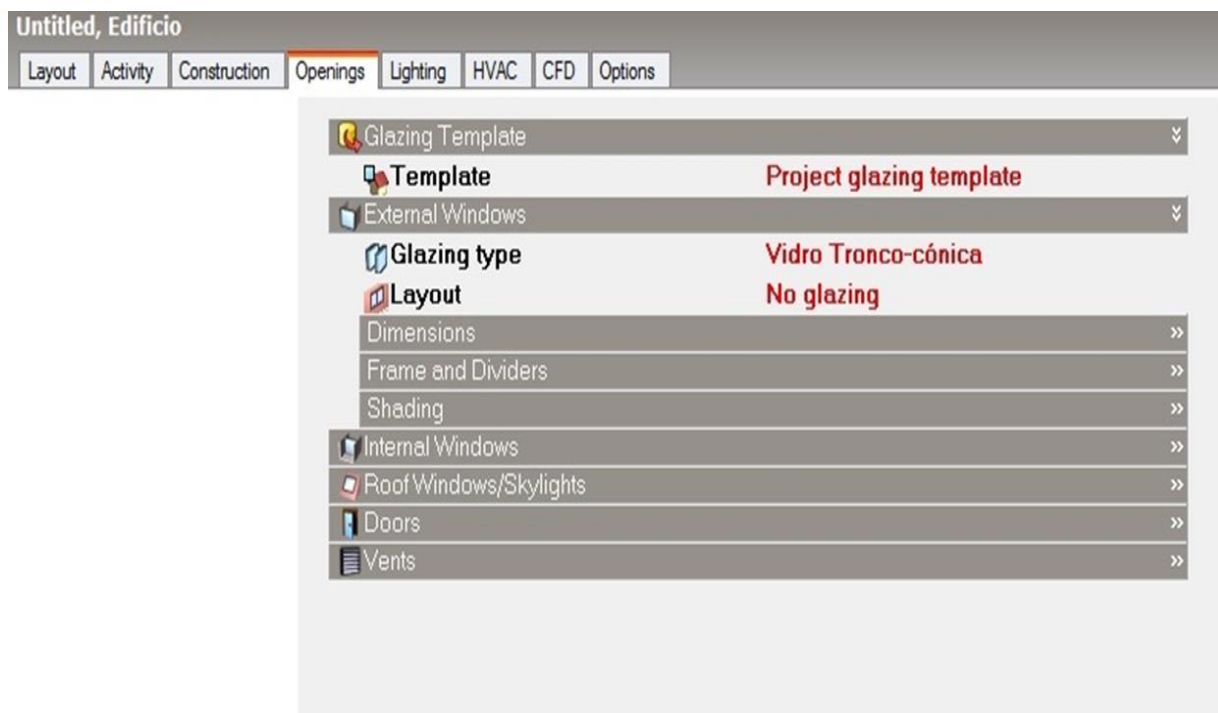


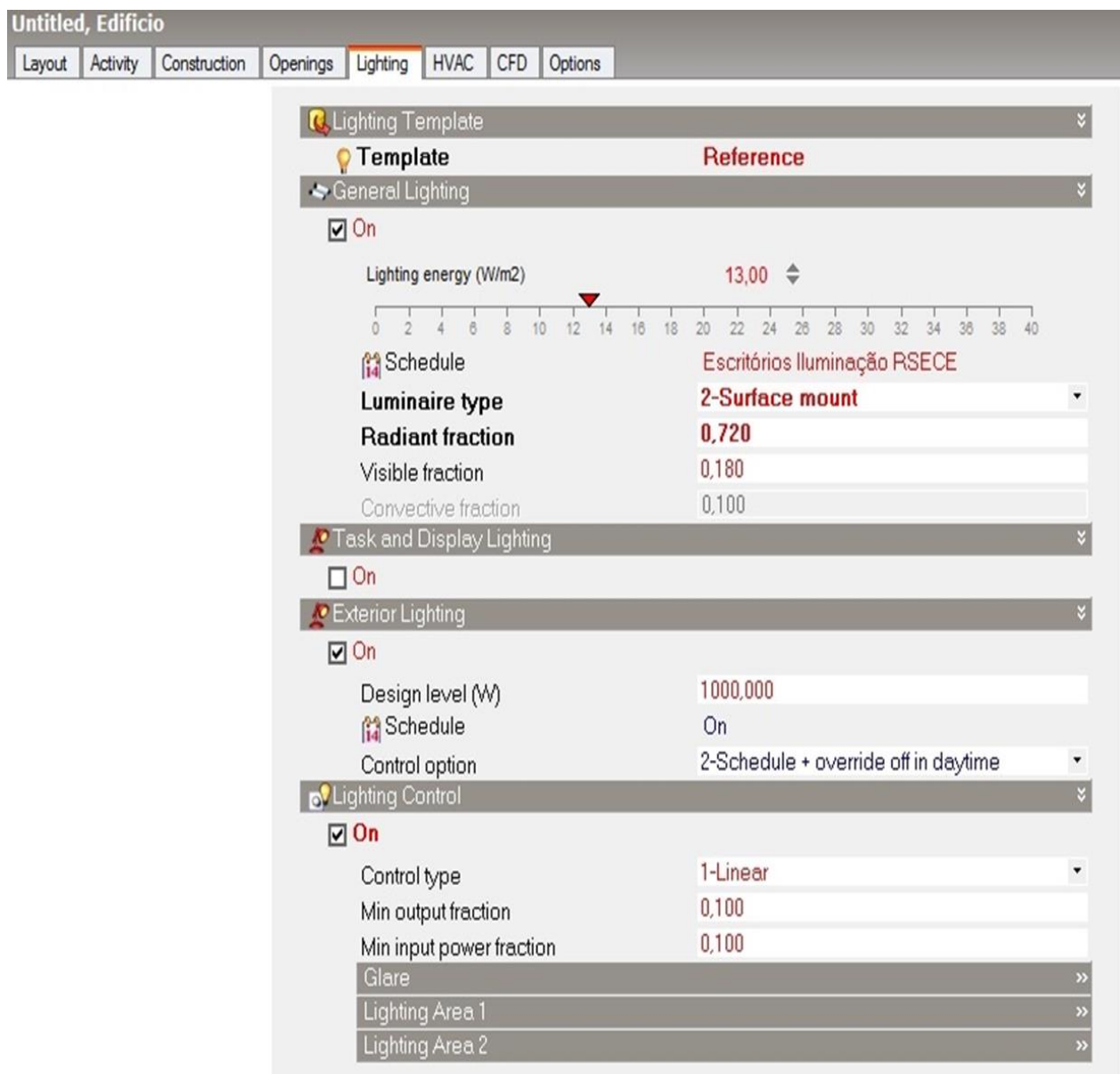
Figura 17 – Design Builder – dados “reais” de entrada “Construction”

### “Openings Template”



**Figura 18** – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Openings”

“Lighting Template “



Untitled, Edificio  
 Layout Activity Construction Openings **Lighting** HVAC CFD Options

**Lighting Template**

**Template** Reference

**General Lighting**

On

Lighting energy (W/m2) 13,00

Schedule Escritórios Iluminação RSECE

**Luminaire type** 2-Surface mount

**Radiant fraction** 0,720

Visible fraction 0,180

Convective fraction 0,100

**Task and Display Lighting**

On

**Exterior Lighting**

On

Design level (W) 1000,000

Schedule On

Control option 2-Schedule + override off in daytime

**Lighting Control**

On

Control type 1-Linear

Min output fraction 0,100

Min input power fraction 0,100

Glare >>

Lighting Area 1 >>


Lighting Area 2 >>


Figura 19 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Lighting”


“Hvac Template”

Untitled, Edifício

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC CFD Options

 HVAC Template


 **Template** Sistema Split com ventilação mecânica

 Mechanical Ventilation


On

Outside air definition method 5-Min fresh air (Max per person and per are


Operation


 Schedule Escritórios Horário AVAC

Fans >>

 Auxiliary Energy

Pump etc energy (W/m2) 2,7000

 Schedule Escritórios Horário AVAC

 Heating


Heated


Fuel 1-Electricity from grid

**Heating system CoP** 3,520

Type >>

Operation

 Schedule Escritórios Horário AVAC

 Cooling


Cooled


Fuel 1-Electricity from grid

**Cooling system CoP** 4,070


Supply Air Condition >>

Operation

 Schedule Escritórios Horário AVAC

 DHW

On

 Natural Ventilation >>


 Air Temperature Distribution >>

Figura 20 – Design Builder – Dados “reais” de entrada “Avac”

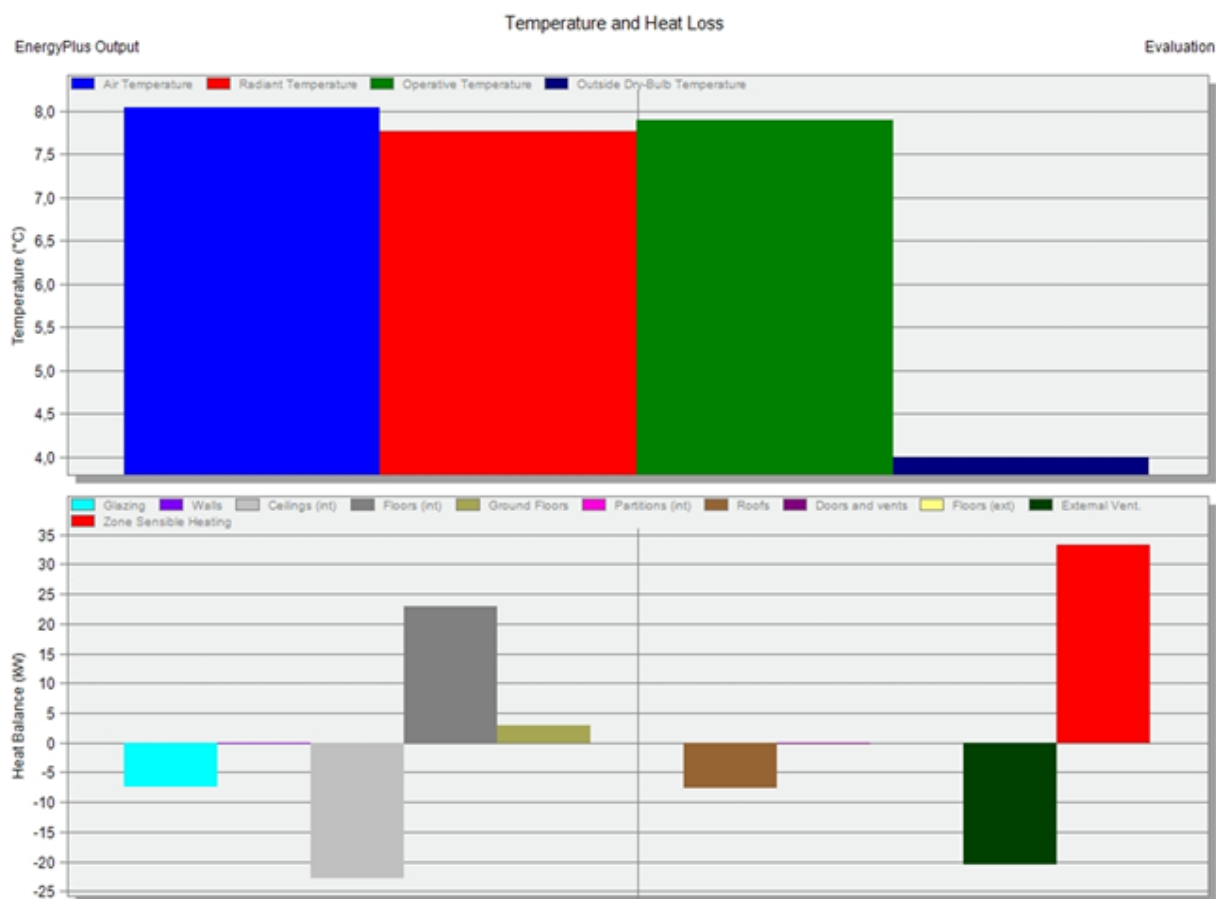
## 4.4 – Análise de resultados da Simulação

Depois de correr a simulação do edifício em condições reais, através dos gráficos seguintes, provenientes do Design Builder, podemos analisar detalhadamente.

### 4.4.1 – Necessidades de aquecimento

Os gráficos seguintes permitem avaliar as perdas térmicas do edifício, assim como as necessidades de energia final no período de aquecimento.

Representam a carga térmica máxima verificada num dia de projeto com as condições climáticas mais extremas, calculada através da soma horária das cargas térmicas de todas as zonas.

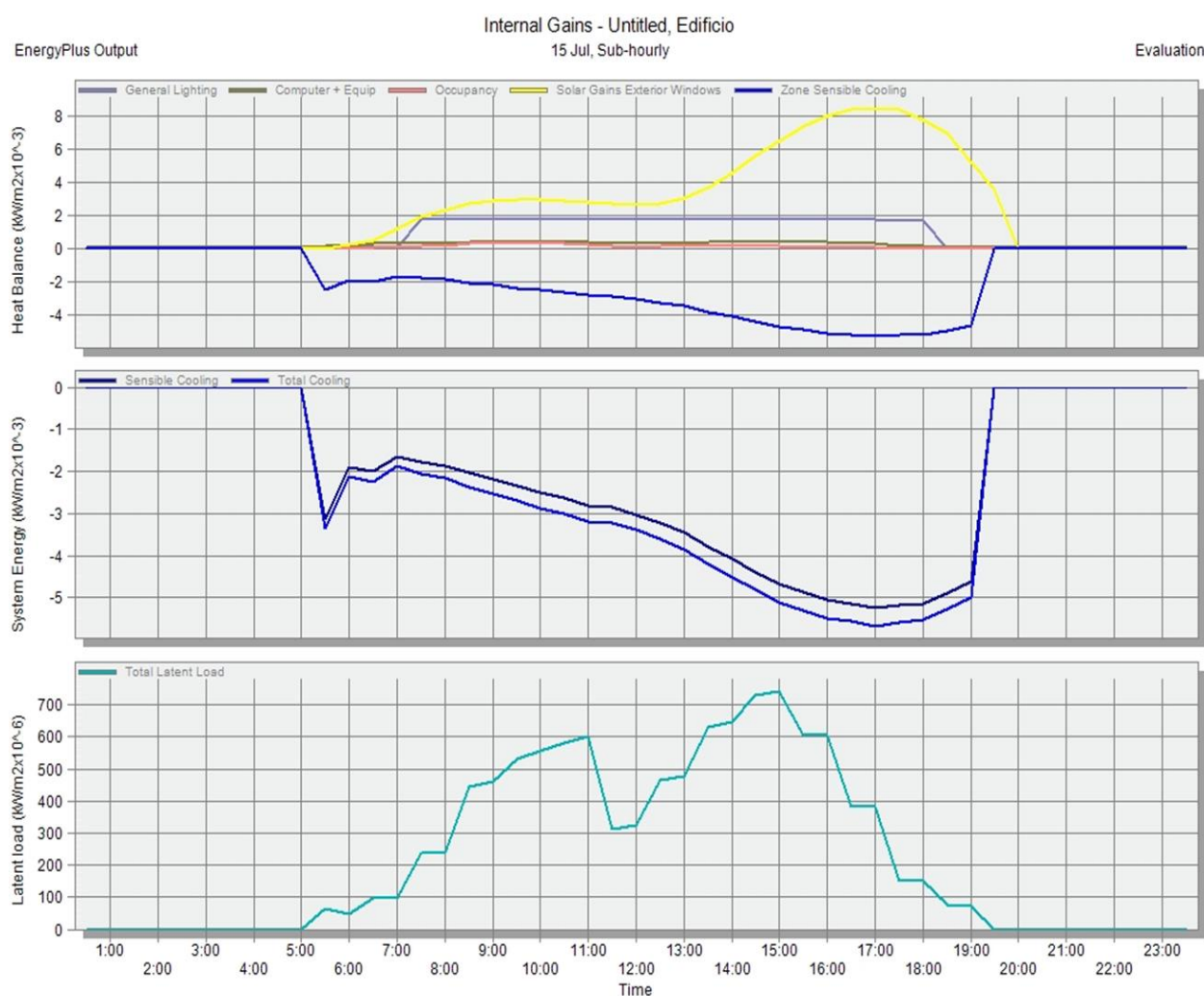


**Figura 21** – Resultados de perdas e ganhos térmicos no edifício – Simulação Real

No gráfico pode verificar-se as necessidades de aquecimento do edifício (identificadas a vermelho na parte inferior do gráfico), sendo dominadas por perdas através de infiltrações de ar provenientes da ventilação, e da renovação de ar derivada da impermeabilização do edifício.

#### 4.4.2 – Necessidades de arrefecimento

Os gráficos seguintes permitem avaliar os ganhos térmicos do edifício, assim como as necessidades de energia final no período de arrefecimento.

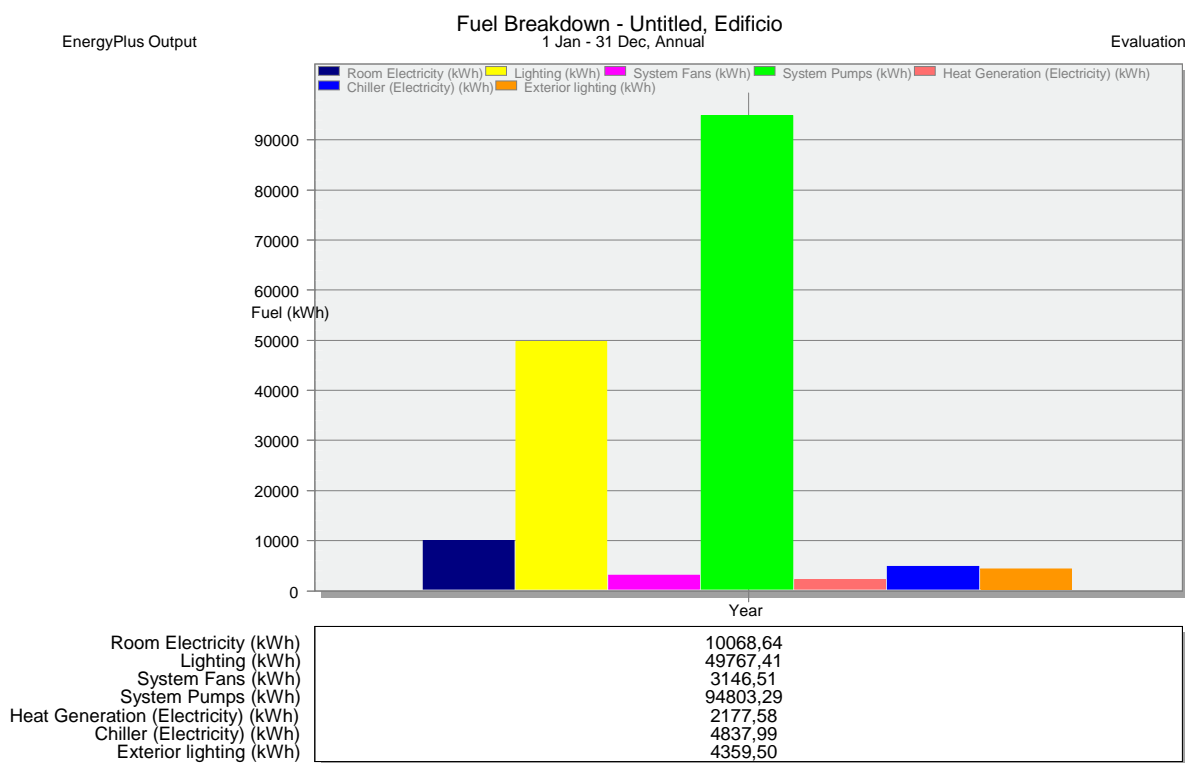


**Figura 22** – Resultados de ganhos internos no edifício (simulação Real horária)

Por exemplo, do gráfico pode-se identificar os ganhos solares provenientes dos envidraçados exteriores a cada hora do dia.

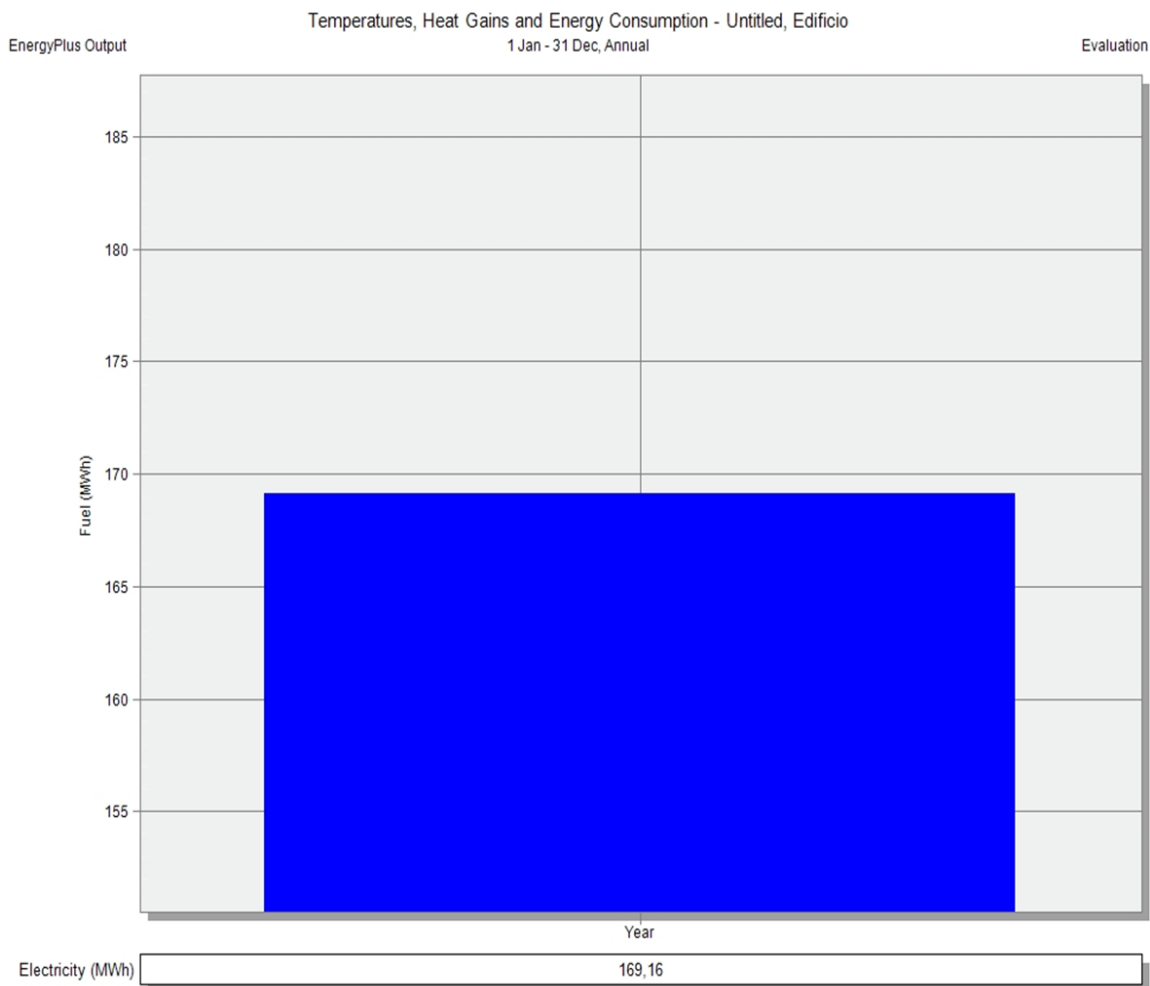
### 4.4.3 – Análise da simulação final

O gráfico seguinte ilustra os ganhos referentes aos vários equipamentos, podendo constatar que o sistema de desenfumagem das caves e a iluminação são os que contribuem com o valor mais elevado do consumo energético, 94803 kWh e 49767 kWh prospectivamente.



**Figura 23** – Consumos Energéticos (kWh)

Em suma, o consumo total de energia elétrica apurado na simulação foi de 169,16 MWh.



**Figura 24** – Consumo total (MWh).

#### 4.5 – Simulação calibrada

A simulação calibrada foi a opção que permitiu estimar a energia economizada através da simulação do consumo de energia de toda a instalação.

A Calibração (validação) do modelo de simulação dinâmica real utiliza as condições reais de funcionamento, e verifica a concordância dos consumos energéticos previstos por simulação com os consumos reais registados em anos anteriores.

Na tabela seguinte pode verificar-se que os valores simulados encontram-se dentro de uma faixa de  $\pm 10\%$  dos dados reais, o que atende o critério do IPMVP de desvio para o valor mensal.

	<b>Total</b>
Real (kWh)	161374
Simulado (kWh)	169161
<b>Varição</b>	<b>5%</b>

**Figura 25** – Consumo real de energia elétrica versus consumo estimado após calibração

Uma vez calibrado o modelo de simulação, estão criadas as condições para serem estudadas as MMEE.

#### **4.6 – Tipo de análise e enquadramento regulamentar (ASHRAE 140, análise monozona vs multizona)**

O EnergyPlus com o interface Design Builder é um programa de simulação dinâmica multizona, que está de acordo com a legislação e com a norma ASHRAE 140-2004.

A norma ASHRAE implementou um programa rigoroso de testes e validação de resultados obtidos através dos diversos programas, de modo a avaliar a precisão de cada um, identificando diferenças nos resultados obtidos resultantes dos diferentes algoritmos envolvidos, limitações e erros de código.

A opção pela utilização de um programa de simulação multizona é mais eficaz que a simulação monozona, devido à sua flexibilidade de modelação (dados climáticos, dados

técnicos e utilização do EnergyPlus de modo a realizar a simulação térmica e energética do edifício).

Este tipo de simulação permite que sejam consideradas e simuladas simultaneamente múltiplas zonas do edifício, apurando as necessidades e consumos energéticos específicos, bem como potenciando o dimensionando dos sistemas de climatização do edifício.

Ao contrário, a simulação dinâmica simplificada apenas permite uma simulação horária anual de um espaço tipo monozona, simulando a potência máxima requerida para um sistema de climatização, e calculando o consumo de energia de um edifício.

Este método de simulação é mais utilizado para determinação das necessidades e consumos energéticos específicos, bem como para o dimensionamento de sistemas, em pequenos edifícios de serviços e em edifícios residenciais

Em suma, a opção de escolher um programa que nos permita uma simulação detalhada (multizona), permitirá ultrapassar as limitações impostas numa simulação mais simplificada (monozona), ao nível de:

1. Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento:

- Impacto de geometrias mais complexas;
- Efeito da iluminação natural;
- Variação do caudal de ar novo em função da ocupação.

2. Sistemas climatização:

- Impacto dos ventiladores na carga térmica, bem como o impacto energético da utilização de velocidade variável;

3. Consumos iluminação e equipamentos: consideração de consumos horários de alguns equipamentos (ex.: garagens).

#### **4.7 – Limitações em relação à calibração do modelo**

A calibração do modelo conduz a que os resultados da simulação sejam próximos dos resultados reais. No caso em apreço (em que não existem medições diretas de parâmetros, tais como temperaturas das zonas, consumos e eficiência de equipamentos AVAC), as grandezas avaliadas na calibração do modelo são os consumos globais de energia elétrica. Assim, no processo de calibração são comparados os consumos históricos registados pela faturação energética com os consumos previstos pela simulação para o modelo produzido. Este processo pode levar a uma série de reajustes de vários parâmetros do modelo

Para além dos consumos dos vários equipamentos existentes e também da energia elétrica da iluminação, as necessidades de energia útil para aquecimento e para o arrefecimento previstas pela simulação, são convertidas em consumos de energia elétrica final, através da eficiência dos equipamentos envolvidos nos processos de produção térmica. Contudo, as eficiências nominais dos equipamentos, que constam nos catálogos dos fabricantes, não são alcançadas pelo sistema real. Por esta razão, também se ajustam as eficiências efetivas médias associadas a estes processos.

Obviamente que é muito pouco provável que os valores decorrentes da simulação sejam idênticos aos valores médios dos consumos registados, destacando-se as seguintes limitações:

- Os elementos relativos à faturação da energia elétrica não correspondem à situação atual, sobre a qual incidu a simulação, mas a um período anterior, podendo no entretanto ter havido algumas alterações nos hábitos de utilização do edifício, ocupação, cargas internas, etc.;
- São utilizados dados climáticos do Solterm para tratamento do período de referência. Contudo, poderá haver necessidade de ajustes no período de reporte;
- A simulação computacional é sempre um método de cálculo aproximado;
- A recolha e síntese de informação para construção do modelo é sujeita a falhas e simplificações;
- Um modelo é por definição uma representação da realidade e apresenta, portanto, limitações e incorreções.

Estas limitações em relação à calibração do modelo resultam da quantidade de variáveis físicas a manipular e a controlar no processo de construção do modelo computacional em termos reais.

## **5 – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética (MMEE)**

Foram objeto de estudo as seguintes medidas de melhoria de eficiência energética:

- a) Utilização de uma película refletora na envolvente exterior transparente;
- b) Melhoria do isolamento térmico da cobertura;
- c) Aplicação de cortinas interiores opacas;
- d) Alteração da programação do funcionamento dos ventiladores das três caves (desenfumagem);

- e) Alteração da iluminação dos escritórios e caves, de lâmpadas fluorescentes tubulares com balastro eletrónico para lâmpadas LED;
- f) Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor.

Cada uma das medidas é simulada e são obtidos os resultados.

O resumo dos resultados da economia da energia final resultante das MMEE pode ser observado na Tabela 12.

Medidas resultantes da simulação dinâmica real	Eletricidade (kWh/ano)		%
	Consumo	Economia	
Real	169161		
Película Refletora	170695	-	-
Cobertura $U=0,34 \text{ W.m}^2/\text{K}$	168555	606	0,4
Cortina interior opaca	170305	-	-
Ventiladores cave (alteração da programação on/off)	164991	4170	2,5
LED'S escritórios + caves	136857	32304	19,1
Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor	168942	219	0,1

**Tabela 12** – Economia de eletricidade anual no edifício (kWh)

## 5.1 – Potencial de poupança

A análise energética ao edifício permitiu identificar alguns problemas e sugerir algumas medidas com vista ao aumento do desempenho energético.

A tabela seguinte resume o trabalho de análise da factura energética de Janeiro a Dezembro, com o intuito de apurar o consumo total de kWh de energia elétrica de toda a instalação e obter o seu respetivo perfil de consumo.

<b>Resumo anual faturação eletricidade do edifício</b>			
<b>Tarifas</b>	<b>kWh</b>	<b>%</b>	
Vazio normal	47035	29	43
Super vazio	21923	14	
Ponta	17854	11	57
Cheias	74562	46	

**Tabela 13** – Resumo anual faturação de eletricidade do edifício

Pode-se concluir que a instalação tem um perfil de consumo com 57 % de ponta e cheias e 43 % de vazio.

### 5.1.1 – Consumo em vazio

O consumo em vazio, das 0h às 7h, corresponde a 43% do consumo total de energia, valor que parece algo exagerado, visto o edifício estar fechado entre as 20h e as 8h.

Durante esse período, foram identificados alguns consumos desnecessários na factura energética, como, o facto de alguns equipamentos de escritório ficarem no modo standby durante o período de fecho. Uma medida tão simples como a utilização de extensões elétricas com interruptor, pode ter repercussões interessantes na factura energética, nomeadamente nos consumos verificados em vazio. A utilização de extensões elétricas com interruptores que se desligam quando o equipamento não é mais necessário, é uma medida que implica a consciencialização dos ocupantes do edifício para que estes façam a gestão do funcionamento dos equipamentos consoante as suas necessidades.

Outro problema identificado foi o facto do sistema de desenfumagem das 3 caves estar programado para arrancar algum tempo antes da hora da abertura, incidindo no período do consumo em vazio. Neste caso, o simples facto de alterarmos o tempo de funcionamento dos ventiladores neste período, conduzirá a uma redução efetiva da energia final do edifício.

### 5.1.2 – Elevado Ganho Solar

O edifício tem um ganho solar elevado devido à grande extensão de vãos envidraçados nas fachadas Sudoeste. A redução deste ganho, pela aplicação de uma película de controlo solar nos envidraçados, pode contribuir para a poupança de energia consumida no arrefecimento dos gabinetes, melhorando o conforto dos ocupantes dos mesmos, podendo contudo provocar um aumento das necessidades de aquecimento e de iluminação nas épocas de menor intensidade solar.

### 5.2 – Medição e Verificação: Justificação da opção

Documento base para aferição do desempenho efetivo de cada MMEE

A preparação do plano M&V, é uma etapa indispensável para a determinação da poupança. A planificação antecipada garante que todos os dados necessários para a determinação da poupança estejam disponíveis após a implementação das MMEE.

Serão registados e documentados os dados de consumo de referência e os detalhes relativos às MMEE para referência futura, no caso das condições se alterarem ou das MMEE falharem. Essa documentação deverá ser acessível e de fácil compreensão.

Serão incluídos os métodos e instrumentos técnicos de medição e de verificação e consideradas as condições específicas do edifício a estudar. Assim, será considerada uma opção de Medição e Verificação, opção D, que **simula** o consumo (antes e após a implementação da MMEE) requerendo a modelização das envolventes e dos sistemas. Serão ainda especificados os procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros para ajuste e estudo dos efeitos interativos. Constarão também procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas e acompanhamento de situações que provoquem ajustes ao consumo e conseqüentemente no cálculo da poupança.

A opção D, simulação calibrada, foi a opção aplicada, dada a possibilidade que esta permitiu em estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação, tanto para o período de referência como para o período de reporte.

A poupança determinada com esta opção baseia-se numa ou mais estimativas complexas de consumo de energia. A precisão da poupança dependerá do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e da sua boa calibração. A calibração será obtida, verificando se o modelo de simulação prevê razoavelmente os padrões de energia da instalação, comparando os resultados do modelo a um conjunto de dados de calibração. Estes dados de calibração incluem dados de energia medidos, variáveis independentes e fatores estáticos. A calibração da simulação do edifício de serviços existente será efetuada recorrendo-se a um número mínimo de 12 faturas mensais emitidas pelo fornecedor de energia.

### **5.3 – Análise quantitativa da Medidas de Melhoria**

A aplicação de medidas de melhoria de eficiência energética está diretamente associada à redução de consumos energéticos, à redução de custos e investimentos associados, e ao impacto ambiental.

Tendo como base o modelo dinâmico do edifício, as medidas são analisadas, não só nas condições reais de funcionamento conhecidas, com também em condições *nominais de utilização*, as quais não são mais que perfis normalizados de ocupação, iluminação e equipamento, de acordo com a tipologia.

Assim, temos a oportunidade de adotar uma estratégia para o edifício no seu todo, pese embora este tenha uma ocupação real pouco superior a 15 % da sua área útil.

A aplicação de cada medida implicará um determinado investimento com vista a uma determinada poupança, podendo ser traduzida objetivamente em indicadores representativos da sua viabilidade económica

Assim, os indicadores de viabilidade económica de cada medida vão ser expressos em poupança (kWh/ano e €/ano), kg equivalente de petróleo (kgep) e kgCO<sub>2</sub> equivalente, associados ao investimento e ao período de retorno simples (PRS).

A conversão de energia elétrica útil (kWh) para energia primária (kgep) será efetuada com o fator de conversão 0.29 kgep/kWh [Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*, Diário da República, série I-A N.º 67 de 4 de Abril de 2006, pp. 2416-2468].

Para a contabilização do indicador referente à intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se um fator de emissão associado ao consumo de eletricidade de 0,47 kgCO<sub>2</sub>/kWh [Portaria n.º 63/2008, Diário da República, 1.ª série N.º 14 de 21 de Janeiro de 2008, pp.618].

A viabilidade económica das medidas de melhoria de eficiência energética, para efeitos do presente Regulamento, é calculada através do parâmetro «período de retorno simples» (PRS), cuja definição é a seguinte:

$$\text{PRS} = \text{Ca}/\text{P1}$$

em que:

**Ca** - custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem a alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema, com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projetista;

**P1** - poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício, nos termos do presente Regulamento, da situação base e da situação com a solução mais eficiente.

Esta metodologia avalia a situação a custos de energia constantes e iguais aos do momento do investimento e não considera quaisquer custos financeiros nem efeitos da inflação.

### **5.3.1 – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética (MMEE)**

O estudo das MMEE vai incidir nalgumas hipóteses possíveis para a melhoria do desempenho energético do edifício com o intuito de serem reduzidos os desperdícios energéticos. Das medidas, temos a redução do ganho solar pelos envidraçados através da aplicação de películas ou utilização de cortinas interiores opacas, a melhoria do isolamento térmico na cobertura do edifício, a alteração do horário de funcionamento de equipamentos de desenfumagem das caves, a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares com balastro eletrónico por lâmpadas LED e a utilização de extensões elétricas com interruptor

A tabela seguinte resume os resultados obtidos a partir da simulação Real das MMEE, de forma desagregada.

Sistemas	Real		Medidas de Melhoria de Eficiência Energética											
	FINAL	%	Película R20	%	Cobertura U=0,34 Wm2/k	%	cortina interior Opaca	%	Ventiladores caves (alteração programação on/off)	%	LED'S Escritórios + caves	%	Extensões elétricas com interruptor	%
Equip. escritório (kWh)	10069	6	10069	6	10069	6	10069	6	10069	6	10069	7	9850	6
Iluminação Int. (kWh)	49767	29	52010	31	49767	30	50130	29	49767	30	17879	13	49767	29
Ventilação (kWh)	3146	2	3146	2	3147	2	3146	2	3146	2	3146	2	3146	2
Desenfumagem (kWh)	94803	56	94803	56	94803	56	94803	56	90633	55	94803	69	94803	56
Aquecimento (kWh)	2178	1	2379	1	1977	1	2176	1	2178	1	2378	2	2178	1
Arrefecimento (kWh)	4838	3	3928	1	4432	3	5621	3	4838	3	4223	3	4838	3
Iluminação ext (kWh)	4360	3	4360	3	4360	3	4360	3	4360	3	4360	3	4360	3
<b>TOTAL</b>	<b>169161</b>		<b>170695</b>		<b>168555</b>		<b>170305</b>		<b>164991</b>		<b>136857</b>		<b>168941</b>	
<b>Diferencial kWh</b>			<b>1534</b>		<b>-606</b>		<b>1144</b>		<b>-4170</b>		<b>-32304</b>		<b>-220</b>	
<b>%</b>			<b>0,9</b>		<b>- 0,4</b>		<b>0,7</b>		<b>- 2,5</b>		<b>- 19,1</b>		<b>- 0,1</b>	

**Tabela 14** – Comparativo resultados simulação Real das MMEE

### 5.3.1.1 – Aplicação de Película de Controlo Solar

Apresentando o edifício uma arquitetura com grandes áreas de vãos envidraçados, responsáveis pela captação da radiação solar para o interior do espaço ocupado, tornou necessário o estudo de uma medida que permitisse reduzir esse efeito.

Como medida, foi escolhida uma película de controlo solar, analisando os ganhos solares e as necessidades de calor e de frio.

Sabe-se que o consumo de energia em climatização, depende, entre outros fatores, da incidência da radiação solar nas janelas, fundamentais no contributo da energia solar para a melhoria do conforto, ou seja, para o aumento da temperatura no interior do edifício durante a estação de aquecimento. Do total de energia solar incidente, uma

parte é absorvida, outra é refletida, mas a maior parte é transmitida para o interior do edifício através do envidraçado.

A aplicação de uma película de controlo solar, vai permitir, não só conferir a capacidade de refletir e absorver a radiação solar, como rejeitar uma parte do calor, ou seja, altera a contribuição dos ganhos solares provenientes das janelas para a carga térmica interna do edifício, resultando numa redução das necessidades de arrefecimento no Verão, havendo, no entanto, um aumento das necessidades de aquecimento no Inverno e um maior consumo da energia elétrica para a iluminação.

Os resultados desta escolha mostraram tratar-se de uma medida pouco eficaz, uma vez que o consumo total do edifício aumentou 1534 kWh/ano, cerca de 0,9%. Embora se tivesse conseguido obter uma redução do consumo elétrico necessário para o arrefecimento de 910 kWh/ano, as necessidades de iluminação e de aquecimento aumentaram em 2243 kWh/ano e 201 kWh/ano (9%) respetivamente.

Em suma, o que se ganha em energia elétrica para arrefecer, perde-se no aquecimento e na iluminação.

Face ao exposto, esta medida não será analisada face à poupança alcançada, investimento e viabilidade económica.

O fabricante da película proposta refere que com um investimento reduzido e um rápido retorno, as películas de proteção solar, proporcionam inúmeros benefícios. Contudo, na situação estudada, o facto do perfil de consumo do edifício apontar a iluminação com cerca de 29% consumo total, contra os 4% da climatização, coloca esta medida num plano pouco viável, pois por muito elevada que seja a redução do consumo para o arrefecimento, qualquer pequeno aumento da iluminação suplanta os consumos elétricos totais do edifício.

### 5.3.1.2 – Melhoria do isolamento térmico da cobertura

Embora o edifício apresente uma cobertura com um bom coeficiente de transmissão térmica,  $0,56 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , procurou-se estudar uma solução que permitisse melhorar esse isolamento, protegendo-o mais face às variações térmicas.

Foi escolhida uma solução de isolamento térmico tipo “lajetas” com proteção destinada especialmente para sistemas de cobertura plana invertida, conseguindo-se alterar o coeficiente para  $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Com esta medida, foi possível analisar quais as vantagens em melhorar o isolamento térmico da cobertura, e quais as suas implicações no consumo elétrico dos equipamentos de climatização.

	Consumo (kWh/ano)		Poupança anual	
	Inicial	Final	kWh	%
Lajetas $U=0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$	169161	168555	606	0,4

**Tabela 15** – Poupança de consumo associada à aplicação de lajetas

Na tabela seguinte apresenta-se o investimento desta medida.

Medida	Poupança anual		Kgep	KgCO <sub>2</sub>	Investimento €	PRS (anos)
	kWh	€				
Aplicação de Lajetas	606	79	176	285	32878	417

**Tabela 16** – Investimento associado à aplicação de lajetas

Analisados os resultados obtidos na simulação dinâmica e considerando o facto do último andar do edifício não se encontrar ocupado, verifica-se que esta medida não produz os efeitos desejados, pois representaria uma poupança energética de apenas 606 kWh ano, cerca de 0,4 % do consumo do total anual de toda a energia.

Verifica-se, ainda que, o período de retorno esperado desta medida é muito elevado, (417 anos), uma vez que comporta um elevado investimento, 32.878 €.

### 5.3.1.3 – Aplicação de cortinas interiores opacas

Esta medida simplesmente não deverá ser considerada, pois da simulação dinâmica verificou-se que contribuía para um aquecimento suplementar do ambiente por efeito de convecção, verificando-se o aumento do consumo de energia para o arrefecimento e da iluminação das zonas ocupadas, que se traduz num valor total de 1144 kWh//ano.

### 5.3.1.4 – Alteração da programação dos ventiladores das caves

No projeto, foi definido que o arranque dos ventiladores das caves ocorreria em dois períodos distintos, no início do dia (algum tempo antes da hora de ponta matinal) e, no final do dia, a partir dum sinal enviado por um controlador horário previamente programado.

Contudo, o funcionamento dos ventiladores está associado a um sistema de deteção de CO, ou seja, dependentes apenas da utilização das caves por parte dos veículos automóveis.

Esta medida passa por reprogramar o controlador horário, para arrancar somente antes da hora de ponta matinal, período do dia em que a energia tem custos mais baixos.

Esta medida permite uma redução do consumo elétrico de 4170 kWh/ano, correspondente a, 2,5 % do consumo total da instalação.

	Consumo (kWh/ano)		Poupança anual	
	Inicial	Final	kWh	%
<b>Ventiladores caves (alteração programação on/off)</b>	169161	164991	4170	2,5

**Tabela 17** – Poupança de consumo associada à reprogramação dos ventiladores

Esta medida deverá ser considerada, dado tratar-se de uma solução simples e viável e com a capacidade de reduzir o consumo anual de eletricidade sem qualquer tipo de investimento.

Medida	Poupança anual		Kgep	KgCO2
	kWh	€		
Reprogramação Ventiladores	4170	542	1209	1960

**Tabela 18** – Poupança energética anual

Conclui-se que esta medida apela à boa gestão dos equipamentos no edifício, no que respeita à necessidade de ajustamentos da sua programação, em função do conhecimento real do funcionamento do edifício.

### **5.3.1.5 – Substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED**

LED, que significa diodo emissor de luz, é um condutor de energia elétrica, que quando é energizado, emite luz visível a olho nu.

Devido ao seu reduzido consumo de energia e elevada durabilidade, as lâmpadas LED são particularmente económicas e amigas do ambiente

Recorrendo à simulação dinâmica detalhada, verifica-se que o consumo elétrico com iluminação segue-se ao consumo elétrico com o sistema de desenfumagem das caves, representando 29 % do consumo total da instalação, num total de 49767 kWh/ano.

Assim, torna-se evidente o estudo de uma medida que permita a redução à redução do consumo elétrico, através da adoção de uma solução técnica disponível no mercado.

A substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, vai permitir reduzir a potência de iluminação, mantendo-se o nível de iluminação.

Zona	Lâmpada Fluorescente Tubular			Lâmpada LED			
	Potência	Vida útil (H)	Fluxo Luminoso	OSRAM – Compatível	Potência	Fluxo Luminoso	Vida útil (H)
Escritórios	18 W	10000	1200 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA2_OSRAM-12W	12 W	1100 lm	40000
WC	36 W	10000	2850 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA4_OSRAM-24W	24 W	2200 lm	40000
Caves	58 W	10000	4600 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA5_OSRAM-30W	30 W	3300 lm	40000

**Tabela 19** – Características das lâmpadas Fluorescentes versus lâmpadas LED

A escolha da lâmpada LED compatível com a lâmpada presente no edifício, verifica uma alteração do fluxo luminoso. Contudo, o cliente aceita a alteração do Fluxo, desde que estejam assegurados os níveis de iluminação recomendados para cada área de trabalho.

Na tabela 19, podemos verificar que o fluxo da zona dos escritórios se mantém praticamente idêntico. A alteração maior tem lugar em duas zonas menos importantes, duas casas de banho do piso 2 e nas 3 caves.

Na tabela seguinte, verifica-se uma redução na densidade de potência de iluminação nos escritórios de  $13,21 \text{ W/m}^2$  para  $8,42 \text{ W/m}^2$ , e nas caves de  $3,12 \text{ W/m}^2$  para  $1,18 \text{ W/m}^2$ .

Lâmpadas Fluorescentes Tubulares					LED				
Piso	Zonas Ocupadas	Área (m <sup>2</sup> )	Pot (W)	W/m <sup>2</sup>	Piso	Zonas Ocupadas	Área (m <sup>2</sup> )	Pot (W)	W/m <sup>2</sup>
0	Recepção	52,10	364	6,99	0	Recepção	52,10	364	6,99
	Atrium	22,10	208	9,41		Atrium	22,10	208	9,41
	Escritório frente esq	79,30	1008	12,71		Escritório frente esq	79,30	560	7,06
1	Escritório fachada frente	145	2448	16,88	1	Escritório fachada frente	145	1360	9,38
	Atrium	22,1	208	9,41		Atrium	22,1	208	9,41
<b>Subtotal edifício</b>		320,60	4236	<b>13,21</b>	<b>Subtotal edifício</b>		320,60	2700	<b>8,42</b>
-1	Estacionamento	2381,2	7424	3,12	-1	Estacionamento	2381,2	2816	1,18
-2	Estacionamento	2381,2	7424	3,12	-2	Estacionamento	2381,2	2816	1,18
-3	Estacionamento	2381,2	7424	3,12	-3	Estacionamento	2381,2	2816	1,18
<b>Subtotal caves</b>		7143,6	22272	<b>3,12</b>	<b>Subtotal caves</b>		7143,6	8448	<b>1,18</b>

**Tabela 20** – Cálculos da densidade lâmpadas Fluorescentes versus lâmpadas LED

Foi escolhida a Lâmpada LED do fabricante OSRAM, visto apresentar um fluxo luminoso (lm) muito similar ao instalado.

Com esta medida, no que concerne à poupança, verifica-se uma redução de energia total de 32304 kWh/ano, cerca de 19,1 %, incluindo efeitos na climatização.

	Consumo (kWh/ano)		Poupança anual	
	Inicial	Final	kWh	%
<b>Colocação de LED escritórios + caves</b>	169161	136857	32304	19,1

**Tabela 21** – Poupança anual medida LED

Esta medida representa um investimento de 16.651 €.

Lâmpada LED	Quantidade	Preço	Montagem	TOTAL C/Iva
<b>LED (12 W, 24 W e 30 W)</b>	488	14.892 €	1.759 €	<b>16 651 €</b>

**Tabela 22** – Poupança associada à substituição das lâmpadas fluorescentes por LED

Na tabela seguinte apresenta-se o investimento desta medida.

Medida	Poupança anual		Kgep	KgCO2	Investimento	PRS (anos)
	kWh	€				
<b>LED OSRAM 10W, 20W e 30W</b>	32.304	4200	9.368	15.183	16.651 €	<b>4</b>

**Tabela 23** – Investimento associado à substituição das lâmpadas Fluorescentes por LED

Esta medida apresenta-se com uma solução eficaz, representando a possibilidade de eliminar o consumo anual de eletricidade em 19,1 %, tendo um período de retorno esperado de 4 anos.

É estimado que as lâmpadas possam durar 14 anos, considerando a utilização média diária da lâmpada e o facto do fabricante ter definido uma vida útil das lâmpadas de 40.000 horas.

Na garantia dos produtos Osram, o fabricante assegura para as lâmpadas LED uma garantia de 5 anos.

### 5.3.1.6 – Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor

A poupança no consumo total anual conseguido com a utilização de extensões elétricas com interruptor, é apresentada na tabela 24.

Neste cálculo é considerado a utilização das extensões, associadas ao equipamento de escritório no horário vazio.

	Consumo (kWh/ano)		Poupança anual (%)	
	Inicial	Final	Consumo total	Consumo equipamento escritório
<b>Extensão elétrica com interruptor</b>	169161	168942	0,13	2,2

**Tabela 24** – Poupança de consumo associada à utilização de extensões com interruptor.

Foram escolhidos extensões de 5 tomadas, de acordo com as necessidades.

Na tabela seguinte apresenta-se o investimento desta medida.

Medida	Poupança anual kWh €		Kgep	KgCO2	Investimento €	PRS (meses)
<b>Extensão 5 tomadas</b>	219	28	64	103	19	8

**Tabela 25** – Investimento associado à utilização de extensão com interruptor

Esta medida apresenta-se com um solução simples e viável, de baixo custo, 19 €, com um período de retorno esperado de oito meses, permitindo a redução dos desperdícios de energia associados ao modo standby dos equipamentos no horário vazio.

Estima-se que com esta medida seja possível obter uma pequena redução, cerca de 0,13 % do consumo energético anual do edifício, correspondendo a uma diminuição de 2,2 % do consumo energético em equipamentos, num total de 28 €, contabilizando apenas os consumos que poderiam ser evitados.

A poupança associada a esta medida é pequena visto o consumo elétrico do escritório representar apenas 6 % do consumo global do edifício.

Contudo, trata-se de uma medida que apela à consciencialização e mudança de hábitos dos ocupantes do edifício, para que estes façam a gestão da utilização dos equipamentos consoante as suas necessidades.

## **6 – Plano de medição e verificação**

### **6.1 – Preparação do Plano M&V**

A preparação do plano M&V é uma etapa indispensável para a determinação da poupança.

A planificação antecipada garante que todos os dados necessários para a determinação da poupança estejam disponíveis após a implementação das MMEE.

Para referência futura são registados e documentados os dados de consumo de referência e os detalhes relativos às MMEE, isto no caso das condições se alterarem ou das MMEE falharem.

São incluídos os métodos e instrumentos técnicos de medição e verificação e consideradas as condições específicas do edifício a estudar.

São ainda especificados os procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros para ajuste e estudo dos efeitos interativos, constando também procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas e acompanhamento de situações que provoquem ajustes ao consumo e consequentemente os cálculos da poupança.

O Plano M&V estabelece procedimentos específicos de medição e métodos de verificação com o objetivo primordial de obtenção de poupança energética. O plano foi elaborado de acordo com as características da instalação e dos seus sistemas, pretendendo-se aumentar os níveis de eficiência através da implementação de MMEE. Deste modo, é conveniente o registo dos dados de consumos de referência e dos detalhes de MMEE, caso exista alguma alteração das condições futuras ou haja necessidade de proceder à atualização das respetivas medidas.

O plano M&V consiste num documento que estabelece um conjunto de métodos e técnicas de medição e verificação que são específicas para o projeto, com o objetivo de determinar as poupanças obtidas a partir de MMEE. Como a poupança não pode ser medida diretamente, uma vez que representa a ausência de consumo de energia, esta é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação da MMEE, sendo necessário realizar alguns ajustes devido a eventuais alterações das condições.

A preparação do plano M&V é portanto fundamental na determinação da poupança, onde um planeamento prévio assegura que todos os dados necessários para o seu cálculo estejam disponíveis após a implementação das MMEE, dentro de um orçamento aceitável.

O plano M&V de um projeto deve ter um conteúdo com a seguinte estrutura:

1. Fornecer uma visão geral da MMEE e atividades de verificação:
  - a) Objetivos a alcançar com a implementação da MMEE;
  - b) Técnicas utilizadas em cada medição, e se for o caso, qual a opção a adotar do IPMVP;
  - c) Identificar principais características físicas das instalações ou sistemas.

2. Definir adequadamente as condições do período de consumo de referência:
  - a) Recolha de informação das condições de medição;
  - b) Definição das condições de operação do período de consumo de referência, como por exemplo, horas de operação e cargas;
  - c) Detalhar a informação relativa aos procedimentos de análise de dados e modelização matemática.
  
3. Definir todas as atividades no período de reporte e de cálculo da poupança:
  - a) Especificar procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros a medir e a ajustar;
  - b) Definir os procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas que permitem validar o plano M&V.
  
4. Detalhar a calendarização de relatórios e procedimentos de M&V periódicos;
  
5. Descrever procedimentos e detalhes de inspeções anuais;
  
6. Descrever os requisitos para relatórios de operação e manutenção;
  
7. Detalhes de como as poupanças serão calculadas:
  - a) Fornecer justificações e procedimentos para qualquer ajuste de energia no período de consumo de referência ou de reporte;
  - b) Detalhar como os efeitos interativos serão tratados.

## **6.2 – Descrição dos pontos essenciais**

### **6.2.1 – Objetivo**

O plano de M&V, segundo o IPMVP, deverá ter como objetivo descrever as MMEE, os resultados pretendidos e os procedimentos da colocação em serviço, que serão utilizados para verificar o êxito da implementação de cada MMEE.

### **6.2.2 – Opção do IPMVP**

Foi utilizada a opção D do IPMVP para determinação da poupança e identificada a fronteira de medição da determinação da poupança.

### **6.2.3 – Período de referência**

São documentados as condições do consumo de referência da instalação e os dados de energia, dentro da fronteira de medição. A documentação do consumo de referência necessária ao plano M&V foi fornecida a partir dos elementos do histórico de faturação da empresa prestadora de serviços energéticos.

Quando os métodos de M&V de toda a instalação forem empregues, todo o equipamento e condições da instalação devem ser documentados.

### **6.2.4 – Período de reporte**

O período de reporte será tão curto como uma medição instantânea durante a aplicação de uma MMEE ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento da MMEE.

Dadas as condições para as medições do período de referência serem muito estáveis, não se espera que até ao começo da implementação haja necessidade de qualquer ajuste.

### **6.2.5 – Base para o ajuste**

São declaradas o conjunto de condições ao qual todas as medições de energia serão ajustadas. As condições serão as do período de reporte.

### **6.2.6 – Procedimento de análise**

São especificados os procedimentos exatos de análise de dados em cada relatório de poupança. Para cada modelo usado, serão reportados todos os seus termos e a gama de variáveis independentes para o qual é válido.

### **6.2.7 – Preços de energia**

Os preços da energia que serão empregues para avaliar a poupança são relativos ao ano 2011, e no caso de alteração de preços, em como essa mesma poderá ser ajustada se os preços alteram no futuro.

### **6.2.8 – Especificações dos equipamentos de medição**

Será especificado como ponto de contagem o contador da empresa comercializadora de energia elétrica.

### **6.2.9 – Responsabilidades de monitorização**

Serão atribuídas as responsabilidades de reportar e registar os dados de energia, variáveis independentes e fatores estáticos dentro da fronteira de medição durante o período de reporte.

### **6.2.10 – Precisão esperada**

Esta será avaliada em função da medição, recolha de dados, amostragem e análise de dados. A avaliação deve incluir medidas qualitativas e todas as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições e ajustes a usar no relatório de poupança planeado.

### **6.2.11 – Orçamento**

É definido o orçamento e os recursos necessários para determinar a poupança, bem como os custos iniciais estabelecidos e os custos contínuos para o período de reporte

### **6.2.12 – Formato do relatório**

É indicada a forma pela qual os resultados serão reportados e documentados.

### **6.2.13 – Garantia de qualidade**

Serão especificados os procedimentos de garantia de qualidade utilizados para os relatórios de poupança, e todos os passos provisórios na preparação dos relatórios.

Será garantido o devido arquivo do registo de dados.

Será garantido o devido arquivamento do registo de dados relativo ao período de 2011.

## **6.3 – Documento base para aferição do desempenho efetivo de cada MMEE**

Para a Opção D, é utilizada o Design Builder como *software* de simulação. Os dados de entrada e saída são obtidos a partir dos elementos resultantes de um arquivo. Os dados climáticos usados são os do Solterm. Os dados utilizados foram obtidos da faturação do

comercializador de energia elétrica. Serão reportados os dados de *energia* e os dados de funcionamento utilizados para a calibração.

O plano de M&V prevê uma poupança esperada de toda a instalação a partir de MMEE.

### **6.3.1 – Período de referência**

Foi considerado como período de referência o ano de 2011, cujo consumo de energia de toda a instalação foi obtido nos dados de eletricidade (em valores mensais).

A documentação relativa aos equipamentos e condições existentes na instalação estão mencionadas no capítulo 3

### **6.3.2 – Período de reporte**

A Auditoria terá a duração de um 1 mês, e serão elaborados relatórios anuais de avaliação

### **6.3.3 – Orçamento**

Os custos imputáveis à realização do presente estudo não deverão ultrapassar 10 % do benefício anual pretendido (redução da factura energética).

### **6.3.4 – Precisão dos dados do contador**

Os dados foram obtidos a partir do contador da energia elétrica, em kWh.

### **6.3.5 – Garantia de qualidade**

O operador fica responsável por manter o registo atualizado de todos os dados especificados em cada MMEE utilizando formatos definidos.

No período de elaboração do relatório, o operador deve comunicar quaisquer alterações no edifício (equipamentos, ocupação, horário de funcionamento).

### 6.3.6 – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética

Após o estudo energético de toda a instalação, foram detetadas possíveis medidas de melhoria de eficiência energética, cuja otimização dos consumos passam pela implementação de seis MMEE (MMEE 1, MMEE 2, MMEE 3, MMEE 4, MMEE 5 e MMEE 6).

A tabela seguinte apresenta as MMEE definidas e suas poupanças:

Descrição das MMEE	Opção do IPMVP Utilizada	Estimativa do valor de poupança (kWh/ano)	Poupança em relação ao consumo total do ano de referência (%)
MMEE 1: Aplicação de película de controlo solar	D	- 1534	- 0,9
MMEE 2: Melhoria do isolamento térmico da cobertura	D	606	0,4
MMEE 3: Aplicação de cortinas interiores opacas	D	- 1144	-0,7
MMEE 4: Alteração da programação dos ventiladores das caves	D	4170	2,5
MMEE 5: Substituição da iluminação fluorescente compacta por iluminação de alto rendimento LED	D	32304	19,1
MMEE 6: Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor	D	219	0,1

**Tabela 26** – Tabela resumo das MMEE a aplicar no Plano de M&V para o edifício

Não serão consideradas no plano M&V a aplicação das medidas (MMEE 1, MMEE 2, MMEE 3), isto porque a partir da simulação calibrada, ter ficado demonstrada a ineficácia destas medidas em reduzir os consumos de energia elétrica no edifício.

## **MMEE 4: Alteração da programação dos ventiladores das caves**

### **Objetivo**

Otimização do consumo energético dos ventiladores de desenfumagem das 3 caves através da redução do tempo de funcionamento. O funcionamento dos ventiladores das caves, para além de estar associado a um sistema de deteção de CO, em que a entrada em funcionamento depende da utilização das caves por parte de veículos automóveis, também conforme definido em projeto, possui um período de funcionamento de 30 minutos de manhã (antes da hora de ponta matinal) e de 30 minutos no final do dia, funcionamento acionado através de um sinal enviado por um controlador horário previamente programado.

A otimização será conseguida, alterando o funcionamento programado, reduzindo o tempo de funcionamento, e fazendo arrancar apenas por um curto período de tempo antes da hora de ponta matinal.

A introdução bem-sucedida no plano vai permitir obter uma poupança no consumo elétrico de 4170 kWh/ano, equivalente a 2,5 % do consumo total de toda a instalação.

### **Opção do IPMVP**

A opção D, Volume I do IPMVP, EVO 1000 – 1:2009, será a opção aplicada, dada a possibilidade que esta permite em estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação.

A opção justifica-se com o facto do consumo elétrico com o sistema de ventilação das caves representar 56% do consumo total, ou seja, 34.803 kWh/ano, de acordo com o n.º de horas de ocupação dos espaços, obtidos através dos dados fornecidos pelo operador.

### Período de referência

Foi considerado como período de referência o consumo ocorrido no ano 2011

### Fator estático

Relativamente aos fatores estáticos, considera-se que à data da auditoria, os equipamentos de desenfumagem encontravam-se todos a operar normalmente.

### Dados equipamento

São considerados, em condições reais, na tabela 27 os equipamentos com as seguintes características.

Ventiladores de extração	Potência absorvida (kW)	Área 3 caves (m <sup>2</sup> )	W/m <sup>2</sup>
VD 1 a VD 12	1. <sup>a</sup> Velocidade - 2,5	7143,6	<b>4,20</b>
	2. <sup>a</sup> Velocidade - 9	7143,6	<b>15,12</b>

**Tabela 27** – Densidade ventilação de desenfumagem das 3 caves

### Período de reporte

O período de reporte será de um ano

### Procedimento de análise

A poupança decorrente do cálculo relativo ao período antes e após a aplicação da MMEE será a que resulta da seguinte equação:

$$Poupança = (Consumo período de referência) - (Consumo período de reporte) +/- Ajustes$$

### **Preço da energia**

O preço da eletricidade a considerar será do ano de referência, 2011.

### **Precisão esperada e especificações do contador**

Em virtude de ter sido considerado o consumo do período de referência a partir da faturação elétrica de um ano de atividade do edifício, e não tendo existido quaisquer tipos de alterações, não são esperados desvios na implementação da MMEE.

Será utilizado o contador de energia elétrica (kWh)

### **Responsabilidades, garantia de qualidade e formato do relatório**

Deverão ser reportadas pelo operador quaisquer alterações de potência e ou avarias em qualquer dos circuitos de iluminação (incluídos ou não na MMEE).

Anualmente, devem ser apurados por técnicos a designar pelo operador, se a estimativa de horas de ocupação se mantêm dentro dos valores estabelecidos.

## **MMEE 5: Substituição da iluminação fluorescente compacta por iluminação de alto rendimento LED**

### **Objetivo**

Esta medida vai permitir reduzir o consumo elétrico, mantendo os níveis de iluminação, tendo uma contribuição total de 32304 kWh/ano, equivalente a 19,1 % do consumo total de toda a instalação.

### **Opção do IPMVP**

A opção D, Volume I do IPMVP, EVO 1000 – 1:2009, será a opção aplicada, dada a possibilidade que esta permite em estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação.

A opção justifica-se com o facto do consumo elétrico com iluminação representar 29% do consumo total, de acordo com o n.º de horas de ocupação dos espaços iluminados, obtidos através dos dados fornecidos pelo operador.

A redução em cerca de 19,1% do consumo elétrico em iluminação, e conseqüentemente menor radiação nos espaços climatizados deverá ser tida em consideração, na medida em que haverá um pequeno aumento nas necessidades de aquecimento no inverno, e uma redução do consumo no verão.

### **Período de referência**

Será tomado o ano 2011 como período de referência, cujos dados são obtidos a partir da factura da energia elétrica

### **Fator estático**

Na aplicação desta medida, foi contabilizada a potência das lâmpadas fluorescentes tubulares.

À data do levantamento dos dados, encontravam-se ativas todas as lâmpadas.

A introdução desta medida terá em conta os fluxos luminosos.

Será tido em conta o aumento da vida útil das lâmpadas decorrente da introdução desta medida.

Possíveis alterações na potência das lâmpadas antes e após o período de reporte, motivarão um ajuste ao consumo de referência. O mesmo acontecerá para avarias de circuito elétrico não afetos à MMEE, após o período de reporte.

### Dados equipamento

São considerados, em condições reais, a alteração das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED.

A tabela seguinte resume os dados do equipamento:

Quantidade	Zona	Lâmpada Fluorescente Tubular			Lâmpada LED			
		Potência	Vida útil	Fluxo Luminoso	OSRAM – Compatível	Potência	Fluxo Luminoso	Vida útil
62	Escritórios	18 W	10000 H	1200 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA2_OSRAM-12W	12 W	1100 lm	40000 H
2	WC	36 W	10000 H	2850 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA4_OSRAM-24W	24 W	2200 lm	40000 H
222	Caves	58 W	10000 H	4600 lm	SUBSTITUTE ADVANCED ST8-HA5_OSRAM-30W	30 W	3300 lm	40000 H

**Tabela 28** – Características lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED

Com esta medida estima-se uma poupança é de 32304 kWh/ano.

### Período de reporte

O período de reporte será de um ano

### Procedimento de análise

A poupança decorrente do cálculo relativo ao período antes e após a aplicação da MMEE será a que resulta da seguinte equação:

$$Poupança = (Consumo período de referência) - (Consumo período de reporte) +/- Ajustes$$

### **Preço da energia**

O preço da eletricidade será do ano de referência, 2011.

### **Precisão esperada e especificações do contador**

Em virtude de ter considerado o consumo do período de referência a partir da faturação elétrica de um ano de atividade do edifício, e não existindo quaisquer tipos de alterações, não são esperados desvios na implementação da MMEE.

Será utilizado o contador de energia elétrica (kWh)

### **Responsabilidades, garantia de qualidade e formato do relatório**

Deverão ser reportadas pelo operador quaisquer alterações de potência e ou avarias em qualquer dos circuitos de iluminação (incluídos ou não na MMEE).

Anualmente, deve ser apurada por técnicos a designar pelo operador, se a estimativa de horas de ocupação se mantem dentro dos valores estabelecidos.

## **MMEE 6: Utilização de Extensões Elétricas com Interruptor**

### **Objetivo**

Eliminação de todo e qualquer consumo de energia elétrica dos equipamentos de escritórios no período em que não estão a ser utilizados, utilizando extensões elétricas com interruptor.

Esta medida pretende apenas contabilizar os consumos desnecessários em vazio de modo a serem evitados.

Tratando-se de uma medida comportamental, a introdução bem-sucedida no plano vai permitir obter uma poupança no consumo elétrico de 219,1 KWh/ano, equivalente a 2,2 % do consumo dos equipamentos de escritório.

### **Opção do IPMVP**

A opção D, Volume I do IPMVP, EVO 1000 – 1:2009, será a opção aplicada, dada a possibilidade que esta permite em estimar a economia através da simulação do consumo de energia de toda a instalação.

A opção justifica-se, pois trata-se somente de eliminar consumos absolutamente desnecessários.

Esta medida apresenta-se com um solução simples e viável, de baixo custo, 19,12 €, com a capacidade de baixar o consumo anual de eletricidade em 0,13 %, e com um período de retorno esperado de 8 meses.

### **Período de referência**

O período do consumo de referência considerado foi o relativo ao ano 2011

### **Fator estático**

Relativamente aos fatores estáticos, considera-se que à data da auditoria, os equipamentos de escritório encontravam-se todos a operar normalmente.

### Dados equipamento

São considerados, em condições reais, na tabela 29 os equipamentos de escritório com as seguintes características

Equipamentos				
Tipo	N.º	Potência (W)	Total W	Densidade (W/m <sup>2</sup> )
Comput+monitor 17"	4	450	1800	
Aparelhagem	2	160	320	
Fax	1	10	10	
Impressora	4	15	60	
Scâner	2	15	30	
<b>Total</b>			<b>2220</b>	

**Tabela 29** – Densidade dos equipamentos escritório

### Período de reporte

O período de reporte será de um ano.

### Procedimento de análise

A poupança decorrente do cálculo relativo ao período antes e após a aplicação da MMEE será a que resulta da seguinte equação:

$$Poupança = (Consumo \text{ período de referência}) - (Consumo \text{ período de reporte}) +/- Ajustes$$

### **Preço da energia**

O preço da eletricidade será do ano de referência, 2011.

### **Precisão esperada e especificações do contador**

Em virtude de ter considerado o consumo do período de referência a partir da faturação elétrica de um ano de atividade do edifício, e não existindo quaisquer tipo de alterações, não são esperados desvios na implementação da MMEE.

Será utilizado o contador de energia elétrica (kWh)

### **Responsabilidades, garantia de qualidade e formato do relatório**

Deverão ser reportadas pelo operador quaisquer alterações de potência e ou avarias em qualquer dos circuitos de iluminação (incluídos ou não na MMEE).

Anualmente devem ser apurados por técnicos a designar pelo operador, se a estimativa de horas de ocupação se mantêm dentro dos valores estabelecidos

## 7 – Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma abordagem de Medição e Verificação na determinação da redução dos custos de energia de um edifício de serviços existente, sem prejuízo dos seus ocupantes.

A metodologia aplicada, não só permitiu aferir o efeito das medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE) antes de serem implementadas, como também testar a sua eficácia, sem recurso a medições energéticas.

A metodologia foi testada num edifício de serviços de uma Rent-a-Car, cujas características técnicas resultaram num banco de ensaios ideal para o estudo e análise das MMEE.

Com esta forma de abordagem, não foi necessário efetuar medições, contactar com empresas de serviços energéticos ou de engenharia. Apenas foi necessário construir um modelo computacional baseado nos dados do edifício e nos levantamentos efetuados, permitindo concluir sobre a influência da aplicação de algumas medidas no desempenho térmico e energético do edifício.

Concluiu-se que o conhecimento prévio de medidas aferidas por esta metodologia, constituiu um contributo seguro e eficaz no apoio à decisão, evitando-se custos e conflitos desnecessários.

## 8 – Referências bibliográficas

**ASHRAE GUIDELINE 14: Measurement of Energy and Demand Savings.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002. ISSN 1049-894X.

**HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN.** New York: Carrier, 2009. ISBN 978-8426714992.

CLARK, Larry - **Building oversight management: M&V and more: in which the author makes the case for enhanced M&V integrated into a building optimization and utility management program. It's a lot more than just metering.** Engineered Systems. ISSN 0891-9976. 28:8 (2011) 44-48.

GINESTET,S.; MARCHIO, D. - **Retro and on-going commissioning tool applied to an existing building: Operability and results of IPMVP.** Energy. ISSN 0360-5442, 2010, Vol.35(4), p.1717-1723.

HANSEN, Shirley J. - **Investment Grade Energy Audit: Making Smart Energy Choices.** Lilburn: Marcel Dekker, 2003. ISBN 978-0824709280

**INTERNATIONAL PERFORMANCE MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL [IPMVP]: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Vol.1.** [Efficiency Valuation Organization: 2010]. Disponível em WWW:<URL : <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31505.pdf>.

MONTEIRO, Victor - **Ventilação na Restauração e Hotelaria: Técnicas para uma boa QA.** Lisboa: Lidel, 2009. ISBN 978-9727575398.

MUNDT, Elisabeth [et.al.] - **Eficácia de Ventilação.** Lisboa: Rehva, 2005. ISBN 972-9848793.

NUNES, Pedro; LERER, Maria; CARRILHO, Guilherme da Graça – **Building energy certification system: application to a building in Lisbon and paths to a future enhanced scheme.** Energy Engineering. ISSN 0199-8595. 110:4 (2013) 7-34.

O'NEILL, Zheng [et. al.] - **Modeling and calibration of energy models for a DoD building.(Report).** ASHRAE Transactions. ISSN 0001-2505. 117-2 (2011) 358-366.

PARK, Sumeet [et.al.] - **Methodological approach for calibration of building energy performance simulation models applied to a common “measurement and verification” process.** Bauphysik. ISSN 0171-5445. 35:4 (2013) 235-241.

RORIZ, Luis - **Climatização: Conceção, Instalação e Condução de Sistemas.** Lisboa: Orion, 2007. ISBN 978-9728620097.

XIA, X.; YE, X.; ZHANG, J. - **Optimal metering plan of measurement and verification for energy efficiency lighting projects.** In Southern African Energy Efficiency Convention – IEEE, 2012. ISBN 978-1-4673-5226-0.p 1-8.

### **Pesquisas de sites na Internet**

ADENE, Agência para a Energia. Disponível em <http://www.adene.pt>.

DGEG, Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgeg.pt/>.

ECOCASA. Disponível em <http://www.ecocasa.org>.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Disponível em <http://www.eficiencia-energetica.com>.

ENERGIAS DE PORTUGAL. Disponível em <http://www.edp.pt>.

### **Legislação consultada**

DECRETO-LEI n.º 78/2006. D.R. I Série. 67 (06-04-04) 2411-2415.

DECRETO-LEI n.º 79/2006. D.R. I SÉRIE. 67 (06-04-04) 2416-2468.

DECRETO-LEI n.º 80/2006. D.R. I SÉRIE. 67 (06-04-04) 2468-2513.