

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Otimização preditiva de operação energética de edifícios inteligentes

Rémy Wilson Dias Martins

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Cláudio Monteiro

17 de outubro de 2016

Resumo

A constante e acentuada dependência de energia proveniente de combustíveis fósseis tem um enorme impacto no meio ambiente e nas alterações climáticas verificadas nos últimos anos. A nível mundial tem-se verificado um aumento do consumo de energia e a tendência é para o seu crescimento continuar nos próximos anos. São enormes os danos que o planeta terra está a sofrer devido a esta problemática e é necessário criar novas soluções tanto na modernização de tecnologias como de metodologias adotadas.

O setor dos edifícios é responsável por uma grande parte dos consumos energéticos verificados mundialmente. Na União Europeia o consumo deste setor representa 40% do consumo energético total e é expectável o seu crescimento nos próximos anos. Os edifícios possuem vários tipos de sistemas e equipamentos que consomem energia e é importante ter a capacidade de previsão de consumos totais e desagregados de modo a que seja possível tomar um conjunto de ações que permitam reduzir os consumos energéticos.

Com esta dissertação pretende-se, através da utilização de simuladores energéticos para edifícios, prever as necessidades energéticas de um edifício comercial para um determinado horizonte temporal de uma semana de verão e uma semana de inverno verificando se determinadas estratégias de funcionamento do sistema AVAC traduzem uma melhor eficiência energética. Com recurso a diversas ferramentas informáticas (*SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus* e *jEplus*) foi construído o modelo do edifício e realizadas diversas simulações. O modelo 3D do edifício foi criado com recurso ao *SketchUp* e através do *OpenStudio Plug-in* foi feita a devida adaptação para que o modelo 3D pudesse ser reconhecido pelo simulador energético *OpenStudio*. Este simulador foi alimentado com informação relativa à previsão meteorológica, níveis de equipamento elétrico, iluminação assim como taxa de ocupação. Com recurso ao *EnergyPlus* foram adicionados três tarifários de forma a ser obtido o tarifário que traduz um menor custo energético para o período em questão.

Neste trabalho foi dado um especial destaque à previsão de consumo por parte do sistema AVAC pois é um sistema cujos consumos podem ser fortemente influenciados tanto pelas condições climáticas previstas assim como pelo funcionamento do equipamento elétrico, iluminação e presença de ocupantes. Para a determinação dos consumos e custos deste sistema os simuladores energéticos de edifícios assumem uma enorme importância, em que o *jEplus* foi escolhido por ter a capacidade de realizar várias simulações sucessivas. Essas simulações foram realizadas para diferentes valores de *setpoints* do sistema AVAC de forma à obtenção dos *setpoints* que traduzem um menor consumo/custo energético. Foi assim possível realizar simulações de modo à obtenção de dados para análise da influência que as condições climáticas previstas, associadas a diferentes níveis de equipamento elétrico, iluminação e taxa de ocupação, têm nos consumos do sistema AVAC e nos consumos e custos totais energéticos do edifício.

Palavras Chave: Otimização, Previsão, Edifícios, Eficiência energética, *EnergyPlus*, Sistema AVAC

Abstract

The constant and severe dependence on energy from fossil fuels has a huge impact on the environment and climate change seen in recent years. Worldwide there has been an increase in energy consumption and the trend is for growth to continue in the coming years. The planet is suffering enormous damage because of this problem and it is necessary to create new solutions in upgrading technologies as methodologies adopted.

The buildings sector is responsible for a large part of energy consumption recorded worldwide. In the European Union consumption in this sector is 40% of total energy consumption and would be expected its growth in the coming years. The buildings have various types of systems and equipment that consumes energy and it is important to forecast capacity of total and disaggregated consumption so that we can take a set of actions to reduce energy consumption.

This dissertation aims to predict the energy needs of a commercial building for a certain time frame of a summer and a winter week. Using several software tools (*SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus* and *jEplus*) was built the building model and performed several simulations. The 3D building model was created using *SketchUp* and through *OpenStudio Plug-in* proper adjustment was made to the 3D model could be recognized by the energy simulator *OpenStudio*. This simulator was fed with weather forecast, electrical equipment levels, as well as lighting occupancy rate information. Using the *EnergyPlus* three were added tariff in order to be able to analyze which tariff translates into a lower cost for the period in question.

In this work was given a special emphasis on forecast consumption by the HVAC system as it is a system which consumption can be strongly influenced by both climatic conditions as well as the operation of electrical equipment, lighting and presence of occupants. To determine the consumption and costs of energy simulators buildings play a critical role. *jEplus* was chosen because is a simulator that has the ability to perform several successive simulations. These simulations were performed for different setpoints values of the HVAC system in order to obtain the setpoints which reflect lower consumption / energy cost. It was possible to perform simulations in order to obtain data for analysis of the influence that the expected weather conditions, associated with different electrical equipment levels, lighting and occupancy rate have on consumption of HVAC system and total building energy costs.

Agradecimentos

Este trabalho representa o final de uma etapa e é enorme a gratidão que tenho para com várias pessoas fantásticas que felizmente se cruzaram na minha vida e que neste momento gostaria de agradecer. Tanto na vida académica como na vida pessoal foram várias as pessoas fundamentais que contribuíram para que este momento chegasse.

À minha querida Joana Torres por estar sempre presente, pela compreensão, dedicação e paciência ao longo de todos estes anos. Um especial agradecimento à mãe Carmen pelo carinho e paciência que sempre teve comigo. À minha irmã Liliane que apesar da distância está sempre presente. À avó Rosa e avô Wilson pelas palavras de incentivo e conselhos.

Ao Professor Cláudio Monteiro por ser meu orientador, especialmente numa fase em que já tinha bastante trabalho e muitas Dissertações para orientar. Agradeço-lhe a compreensão, palavras de motivação assim como a disponibilidade e organização demonstradas no decorrer deste trabalho.

Agradeço à Smartwatt pelo fornecimento de dados que foram bastante importantes para a realização desta Dissertação.

Aos fantásticos amigos de Engenharia: Ricardo Gouveia, Tiago Barros, José Meirinhos, Tomé Silva, João Silva e Tiago Silva por todos os momentos passados e por terem feito esta caminhada comigo.

Um grande abraço de amizade e agradecimento a todos os meus amigos que desde sempre estiveram comigo partilhando alegrias e tristezas e que, por motivos de espaço, não poderei destacar aqui pois felizmente são bastantes (Vocês sabem que são!).

A todos os Professores, funcionários e colegas da FEUP com quem tive a possibilidade de me cruzar.

Gostaria também de deixar um especial agradecimento aos profissionais do Hospital São João que bem me trataram até hoje, pelo profissionalismo, carinho e amizade.

A todos vós um muito obrigado!

Rémy Martins

*“It takes a noble man to plant a seed for a tree that will some day give shade to people he may
never meet”*

D. Elton Trueblood

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Enquadramento	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da Dissertação	3
1.4	Dados Utilizados	4
2	Estado da arte	5
2.1	<i>EnergyPlus</i>	5
2.2	<i>jEplus</i>	11
2.3	<i>OpenStudio</i>	12
2.4	<i>DesignBuilder</i>	16
3	Metodologia Desenvolvida	21
3.1	Ficheiro meteorológico	21
3.2	<i>Sketchup</i> e <i>OpenStudio Plug-in</i>	24
3.3	<i>OpenStudio</i>	25
3.3.1	Horários	26
3.3.2	Cargas	30
3.3.3	Sistema AVAC	32
3.3.4	Variáveis de saída	33
3.4	<i>EnergyPlus</i>	34
3.5	<i>jEPlus</i>	37
3.6	Conforto térmico em edifícios	41
4	Simulação, Aplicação e Resultados	43
4.1	Comportamento térmico do edifício sem sistema AVAC	43
4.1.1	Semana de verão	43
4.1.2	Semana de inverno	44
4.2	<i>Setpoints</i> do sistema AVAC	45
4.2.1	Semana de verão	45
4.2.2	Semana de inverno	56
4.3	Equipamento elétrico	66
4.3.1	Semana de verão	67
4.3.2	Semana de inverno	68
4.4	Iluminação	70
4.4.1	Semana de verão	70
4.4.2	Semana de inverno	71
4.5	Ocupantes	72

4.5.1	Semana de verão	72
4.5.2	Semana de inverno	73
5	Conclusões e Trabalho Futuro	77
5.1	Satisfação dos Objetivos	77
5.2	Respostas obtidas e conclusões gerais	78
5.3	Trabalho Futuro	80
A	Tarifas	83
A.1	Tarifa - Horário de verão	84
A.2	Tarifa - Horário de inverno	87
B	Iluminação	91
	Referências	95

Lista de Figuras

1.1	Consumo de energia nos últimos anos [1]	1
2.1	Modularidade do EnergyPlus [2]	7
2.2	Elementos internos [2]	7
2.3	Exemplo de algumas linhas do ficheiro idf	8
2.4	Interface do EP-Launch	9
2.5	Interface do IDF Editor [3]	9
2.6	Interface do EP-Compare	10
2.7	<i>jEplus interface</i> [4]	12
2.8	Interface do OpenStudio - Edição e comparação de definições das zonas térmicas e tipos de espaços	14
2.9	<i>DesignBuilder interface</i> [5]	16
2.10	Módulos e Pacotes disponibilizados pelo <i>DesignBuilder</i>	18
3.1	Ferramentas informáticas utilizadas por ordem de utilização	21
3.2	Previsão de temperatura para a semana de verão - 15 a 21 de julho	22
3.3	Previsão de temperatura para a semana de inverno – 1 a 7 de fevereiro	22
3.4	Exemplo de parte de um ficheiro meteorológico(*.epw)	23
3.5	Modelização do edifício com recurso ao SketchUp	24
3.6	Página principal do <i>OpenStudio</i>	26
3.7	Horário do equipamento elétrico para 24 horas	27
3.8	Horário do sistema de iluminação para 24 horas	28
3.9	Exemplo do horário do número de ocupantes para as 24 horas de um dia da semana	28
3.10	Exemplo da inserção do <i>Cooling setpoint</i> no <i>OpenStudio</i>	30
3.11	Curvas de iluminância obtidas através do software <i>DIALux</i>	31
3.12	Esquema do sistema AVAC	32
3.13	Introdução de tarifas através do <i>EnergyPlus</i>	35
3.14	Ambiente de trabalho do <i>jEPlus</i>	37
3.15	Ficheiro *.rvx	39
3.16	Criação de um parâmetro no <i>jEPlus</i>	40
3.17	edição do ficheiro *.idf através do <i>jeplus</i>	40
3.18	Ambiente de trabalho da ferramenta CBE Thermal Comfort Tool	41
4.1	Temperatura no exterior e interior do edifício para semana de verão. Sem sistema AVAC.	44
4.2	Temperatura no exterior e interior do edifício para semana de inverno. Sem sistema AVAC.	45
4.3	Resultado da simulação para o valor de <i>cooling setpoint</i> igual a 25°C - 15 a 21 de julho.	46

4.4	Varição dos consumos para diferentes valores de cooling setpoint - semana de verão	47
4.5	Relação dos consumos energéticos desagregados para o <i>cooling setpoint</i> igual a 25°C	48
4.6	Consumos energéticos para o cooling setpoint igual a 21.6°C	48
4.7	Custo total da energia elétrica para diferentes valores do <i>cooling setpoint</i> – semana de verão	49
4.8	Resultado da simulação para o <i>cooling setpoint</i> igual a 25°C no período diurno	50
4.9	Consumos desagregados para diferentes valores de cooling setpoint	51
4.10	Consumos para o <i>cooling setpoint</i> igual a 25°C	52
4.11	Consumos para o <i>cooling setpoint</i> igual a 21.6°C	52
4.12	Custo da energia elétrica para diferentes valores do <i>cooling setpoint</i>	53
4.13	Exemplo dos valores de <i>cooling setpoint</i> assumidos para o dia 17 de julho	54
4.14	Simulação que revelou menor custo energético – 17 de julho	55
4.15	Simulação que revela um maior custo energético – 17 de julho	55
4.16	Custo energético total para diferentes valores de <i>cooling setpoint</i> às 8h – 17 de julho	56
4.17	Resultado da simulação realizada para o valor de <i>heating setpoint</i> igual a 17.9°C – 1 a 7 de fevereiro	57
4.18	Varição dos consumos para diferentes valores de heating setpoint	57
4.19	Relação dos consumos energéticos desagregados para o heating setpoint igual a 17.9°C	58
4.20	Relação dos consumos energéticos desagregados para o heating setpoint igual a 22.5°C	59
4.21	Custo total da energia elétrica para diferentes valores de heating setpoint	59
4.22	Resultado da simulação para o <i>heating setpoint</i> igual a 17.9°C no período diurno	60
4.23	Consumos desagregados para diferentes valores de <i>heating setpoint</i>	61
4.24	Consumos desagregados quando o <i>heating setpoint</i> é igual a 17.9°C	62
4.25	Consumos desagregados quando o heating setpoint é igual a 22.5°C	62
4.26	Custo total da energia elétrica para diferentes valores de cooling setpoint	63
4.27	Exemplo dos valores de Heating Setpoint assumidos para o dia 4 de fevereiro	64
4.28	Simulação que revelou menor custo energético – 4 de fevereiro	65
4.29	Simulação que revelou maior custo energético – 4 de fevereiro	65
4.30	Custo energético total para diferentes valores de Heating Setpoint às 8h – 4 de fevereiro	66
4.31	Consumo AVAC para diferentes valores de potência dos equipamentos elétricos – semana de verão	67
4.32	Varição do consumo do sistema AVAC para diferentes níveis de potência do equipamento elétrico - verão	68
4.33	Consumo AVAC para diferentes níveis de potência dos equipamentos elétricos – inverno	69
4.34	Varição do consumo do sistema AVAC para diferentes níveis de potência do equipamento elétrico - inverno	69
4.35	Varição da temperatura interior e consumo da refrigeração para simulações com e sem sistema de iluminação - semana de verão	70
4.36	Varição da temperatura e consumo do aquecimento para simulações com e sem sistema de iluminação - semana de inverno	71
4.37	Consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - verão	72
4.38	Varição do consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - verão	73

4.39	Consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - inverno . .	74
4.40	Variação do consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação – inverno	74
B.1	Resultados DIALux 1	92
B.2	Resultados DIALux 2	93
B.3	Resultados DIALux 3	94

Lista de Tabelas

3.1	Definição da fração do número de ocupantes na semana de verão	29
3.2	Definição da fração do número de ocupantes na semana de inverno	29
4.1	Valores extremos e média de temperatura para a semana de verão	44
4.2	Valores extremos e média de temperatura para a semana de inverno	45
4.3	Consumos energéticos desagregados e custos para três valores exemplo de cooling setpoint	47
4.4	Consumos desagregados e custos totais para diferentes valores de <i>heating setpoint</i> – semana de Verão	51
4.5	Consumos energéticos desagregados e custos para três valores de heating setpoint	58
4.6	Consumos desagregados e custos totais para diferentes valores de heating setpoint – semana de Inverno	61
4.7	Temperatura média no interior do edifício para vários cenários de iluminação . .	71
A.1	Tarifa 2 ^a a 6 ^a feira - Horário de verão (€/kWh)	84
A.2	Tarifa - Sábado - Horário de verão (€/kWh)	85
A.3	Tarifa - Domingo - Horário de verão (€/kWh)	86
A.4	Tarifa - 2 ^a a 6 ^a - Horário de inverno (€/kWh)	87
A.5	Tarifa - Sábado - Horário de inverno (€/kWh)	88
A.6	Tarifa - Domingo - Horário de inverno (€/kWh)	89

Abreviaturas e Símbolos

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
BEST	Building Energy Software Tools
BIM	Building Information Modeling
BLAST	Building Loads Analysis and system thermodynamics
CFD	Computational Fluid Dynamics
DOE	U.S. Department of Energy
EPCs	Energy Performance Certificates
gbXML	Green Building XML
GMT	GreenWich Mean Time
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
IDD	Input data dictionary
IDF	Input data file
IMF	Input macro file
LCC	Life cycle cost
LEED	Leadership in Energy Environmental Design
NCM	National Calculation Method
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OpenGL	Open Graphics Library
SBEM	Simplified Building Energy Model
SDK	Software Development Kit
TMY	Typical Meteorological Year
UE	União Europeia
WMO	World Meteorological Organization

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação e Enquadramento

Nos últimos anos tem-se registado um aumento no consumo de energia a nível mundial. A sociedade atual tem uma enorme necessidade de consumo energético e a dependência de combustíveis fósseis para responder a essa necessidade é apontada como uma das principais causas das alterações climáticas.

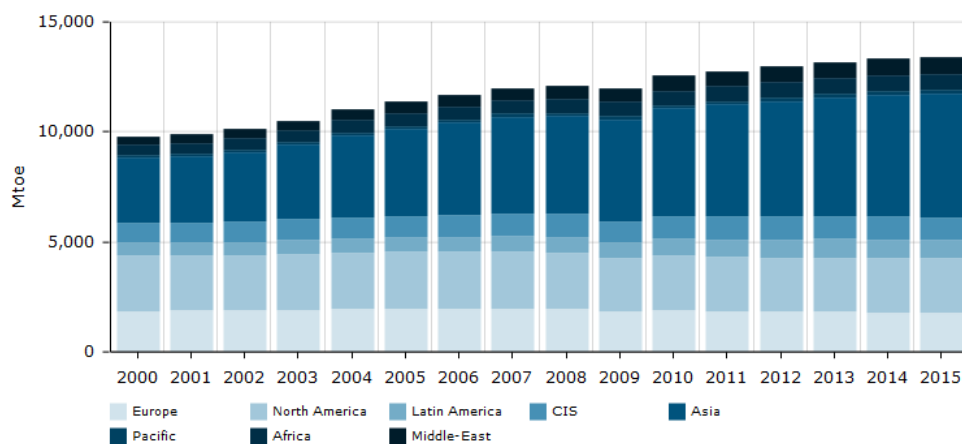


Figura 1.1: Consumo de energia nos últimos anos [1]

Os edifícios representam 40% do consumo de energia total na União Europeia (UE) e é de esperar um aumento de consumo energético neste setor nos próximos anos. [6] Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios constituem medidas importantes e necessárias para reduzir a dependência energética e as emissões de gases com efeito de estufa. É de extrema importância que sejam tomadas medidas que permita à UE cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas.

A certificação energética em edifícios já é uma realidade a nível europeu e com esta certificação pretende-se melhorar o desempenho energético em edifícios levando a uma redução de emissões de gases de efeito estufa. Segundo diretivas europeias o desempenho energético dos edifícios deverá ser calculado com base numa metodologia que poderá ser diferenciada a nível nacional e regional. Esta metodologia abrange, para além das características térmicas, outros fatores com influência crescente, como as instalações AVAC, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a conceção dos próprios edifícios. Os novos edifícios, assim como os edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação, devem cumprir requisitos mínimos de desempenho energético adaptados ao clima local.

Para além dos materiais construtivos de um edifício são vários os fatores que determinam a variação da temperatura no seu interior. A arquitetura, design, localização, orientação e espaços envolventes ao edifício também são relevantes no que à variação da temperatura no interior do edifício diz respeito. O tipo de atividade para o qual o edifício é projetado, o seu horário de funcionamento, a maior ou menor necessidade de utilização de iluminação artificial, o equipamento elétrico presente no interior do edifício, o número de ocupantes assim como o seu tipo de atividade e comportamento (abertura/fecho de janelas e portas) também podem ter um papel preponderante na eficiência energética de um edifício. Os fatores meteorológicos verificados no exterior de um edifício (sol, chuva, vento, neve...) podem ter uma grande influência no consumo dos sistemas AVAC.

Nos últimos anos tem-se registado um aumento do número de aparelhos de ar condicionado nos países europeus. Este facto, para além do impacto ambiental que provoca, cria dificuldades nas horas de ponta devido ao aumento do preço da energia elétrica e à deterioração do equilíbrio energético pelo que deverá ser dada prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o desempenho destes sistemas. [6] Os sistemas AVAC utilizados em edifícios são responsáveis por grande parte do consumo energético. Torna-se necessário analisar com detalhe todos os fatores que influenciam a temperatura interior do edifício assim como os consumos do sistema AVAC de forma a que seja possível tomar medidas concretas para atingir a máxima eficiência energética.

Dada a necessidade em se obter edifícios cada vez mais eficientes é fundamental efetuar modelizações dos edifícios, com recurso a programas computacionais, de modo a serem obtidos resultados que auxiliem na tomada de decisões relativamente a medidas que reduzam os consumos/custos energéticos sem nunca colocar em causa o conforto dos seus ocupantes. A necessidade em se obter edifícios cada vez mais eficientes leva a que novas tecnologias e metodologias estejam constantemente a ser desenvolvidas. Para grandes edifícios (Hospitais, universidades, centros comerciais, aeroportos...) é uma boa prática dotar os edifícios de tecnologia que permita medir e analisar as principais variáveis que estão relacionadas com os consumos energéticos permitindo assim que os operadores dos edifícios tomem decisões que permitam uma melhoria da eficiência energética do edifício.

Hoje em dia é possível simular o comportamento térmico de um edifício recorrendo a ferramentas computacionais (*Building Energy Software Tools* - BEST) de forma a que seja possível

tomar conhecimento de todos os consumos energéticos totais e desagregados de um edifício. Esses simuladores fornecem os consumos energéticos, numa base temporal e espacial, tendo em consideração diversas variáveis tais como os fatores meteorológicos, *setpoints* do sistema AVAC, número de ocupantes do edifício, horário de funcionamento do edifício, iluminação artificial, equipamento elétrico... etc.

De entre os múltiplos benefícios da utilização de ferramentas de simulação em projeto de sistemas de climatização destacam-se os seguintes:

- Maior precisão na previsão de cargas de climatização
- Previsão de consumo energético anual
- Previsão do comportamento do edifício em situações extremas
- Previsão de temperaturas de superfícies
- Previsão de conforto térmico

É de total interesse aos gestores de edifícios a utilização destas ferramentas computacionais para modelizarem os seus edifícios de modo a serem realizadas simulações de previsão de consumos e custos energéticos. Com base nestas informações de previsão é possível ter um conhecimento dos consumos desagregados por sistema de forma a que sejam tomadas medidas para se obter um aumento de eficiência energética assim como redução de custos.

1.2 Objetivos

É objetivo desta dissertação prever as necessidades energéticas de um edifício comercial de pronto a vestir através da criação de vários cenários para um determinado horizonte temporal. Pretende-se criar um modelo do edifício de forma a que seja possível alimentar esse modelo com informação de previsão meteorológica, diagrama de cargas de equipamento elétrico, sistema de iluminação e taxa de ocupação. Os dados meteorológicos que serão utilizados como *input* são previsões para uma semana de verão e uma semana de inverno, pelo que vários cenários serão criados em redor destas duas semanas. Será dado um especial destaque ao consumo do sistema AVAC em que várias simulações serão realizadas para determinar os consumos e custos deste sistema para vários valores de *setpoints*. Com a criação e simulação de diferentes cenários pretende-se obter informação de modo a realizar uma avaliação e determinar oportunidades de poupança fazendo uso de informação de previsão.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos. No capítulo 1 é realizada uma introdução ao trabalho desenvolvido, com descrição do tema, motivação e objetivos que se pretende alcançar.

No capítulo 2 é descrito o Estado da Arte relacionado com o tema desta dissertação.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia que foi aplicada para a obtenção dos resultados.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos através das simulações realizadas assim como é feita uma análise a esses resultados.

No capítulo 5 é apresentada a satisfação dos objetivos, conclusões retiradas no desenvolvimento desta dissertação assim como é feita uma referência aos trabalhos que poderão ser realizados futuramente relacionados com esta dissertação.

1.4 Dados Utilizados

Na realização desta dissertação foram utilizados dados de previsão meteorológica para a cidade da Maia – cortesia da *SmatWatt*.

As tarifas elétricas utilizadas correspondem à *Tarifa Simples*, *Tarifa Bi-Horária Opção de Ciclo Semanal* e *Tarifa Bi-Horária Opção de Ciclo Diário* da EDP Negócios. [A](#)

Capítulo 2

Estado da arte

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas computacionais de simulação energética para edifícios mais relevantes que até ao momento foram desenvolvidas. Estes simuladores podem ser utilizados tanto na fase de projeto do edifício assim como em situações de melhoramento da eficiência energética de um edifício já edificado. Estas ferramentas dão um importante contributo no auxílio à escolha da arquitetura do edifício, tipo e características dos sistemas nele instalados assim como são de grande utilidade na previsão e otimização de consumos energéticos. Este capítulo baseia-se fundamentalmente em literatura existente e será dado especial destaque às ferramentas computacionais mais utilizadas a nível mundial.

2.1 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um programa de simulação energética gratuito e de nova geração bastante utilizado por engenheiros, arquitetos e investigadores na modelização de edifícios com o objetivo de obter os consumos energéticos relativos ao aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, equipamentos elétricos assim como o consumo de água em edifícios. É um simulador energético financiado pelo departamento de energia dos Estados Unidos da América (*U.S. Department of Energy* - DOE) e gerido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (*National Renewable Energy Laboratory* – NREL). O *EnergyPlus* é desenvolvido em colaboração com o NREL, vários laboratórios DOE, Instituições Académicas e empresas privadas. [7] O DOE realiza atualizações do *EnergyPlus* duas vezes ao ano, estando neste momento o software na versão 8.5.0.

Algumas das suas principais características e recursos são:

- . Possibilidade do utilizador definir o *time step* para a interação entre zonas térmicas e o ambiente; *time steps* variáveis para interações entre zonas térmicas e os sistemas AVAC;
- . Condução de calor transitório através dos elementos do edifício tais como paredes, telhados, piso, etc;
- . Modelos de conforto térmico baseado na atividade, temperatura interior, humidade, etc;
- . Modelo anisotrópico do céu para melhoria dos cálculos da difusão solar em superfícies inclinadas;

- . Cálculos avançados para caixilharias, vidros electrocromáticos e uma biblioteca com vários tipos de caixilharia comercialmente disponíveis;
- . Controlo da iluminação diurna incluindo cálculos da iluminância interior, simulação e controlo de persianas, simulação e controlo do brilho, controlo das luminárias e o efeito da redução da iluminação artificial no aquecimento e arrefecimento do edifício;
- . Sistemas AVAC configuráveis que permitem aos utilizadores modelizar sistemas comuns, assim como sistemas ligeiramente modificados, sem ter de recompilar o código fonte do programa.
- . Cálculos de poluição atmosférica que prevê a produção de CO₂, SO_x, NO_x, CO e hidrocarbonetos;
- . Ligações com outros simuladores populares como o *WINDOWS5*, *WINDOWS6* e *DELIGHT* que permitem uma análise mais detalhada dos componentes do edifício. [8]

Nos pontos anteriores foram salientadas algumas das características do *EnergyPlus*. É importante também salientar em alguns pontos para o qual o *EnergyPlus* não está capacitado:

- . O *EnergyPlus* não é uma *interface*. É pretendido que seja utilizado como um motor de simulação que possa ser utilizado por uma interface.
- . O *EnergyPlus* não é uma ferramenta de análise de custo. Este simulador apenas produz resultados que podem depois ser utilizados por um programa de *life cycle cost*.
- . O *EnergyPlus* não é o substituto de um arquiteto ou engenheiro pois não examina as entradas, não verifica a aceitabilidade ou a gama de valores dos vários parâmetros nem tenta interpretar os resultados. [9]

O *EnergyPlus* combina as melhores características dos sistemas DOE-2 e BLAST (*Building Loads Analysis and system thermodynamics*) que foram ambos desenvolvidos e lançados nos finais dos anos 70 e inícios dos anos 80 como ferramentas de simulação energética.

Algumas das vantagens do *EnergyPlus* estão relacionadas com o facto de possuir melhorias a nível estrutural quando comparado com os seus antecessores. O facto de ser orientado a objetos e ter uma natureza modular confere ao *EnergyPlus* diversas vantagens. Isto permite facilitar a adição de novas características assim como facilitar a ligação a outros programas. A linguagem de programação escolhida para o lançamento inicial do *EnergyPlus* foi a FORTRAN90 pois:

- . É uma linguagem moderna, modular com bons compiladores em muitas plataformas
- . Permite estruturas de dados em C e módulos com várias linguagens
- . Fornece estruturas que começam por ser baseadas em objetos
- . Permite variáveis com nomes compridos (até 32 caracteres)
- . Fornece compatibilidade com o código dos seus antecessores durante o processo de desenvolvimento

A modularidade do *EnergyPlus* também tem como objetivo maximizar o número de investigadores para que possam integrar rapidamente o seu trabalho no *EnergyPlus*. O diagrama seguinte

representa como outros programas se ligam ao *EnergyPlus* e dá uma imagem de como futuros trabalhos se podem enquadrar no programa.

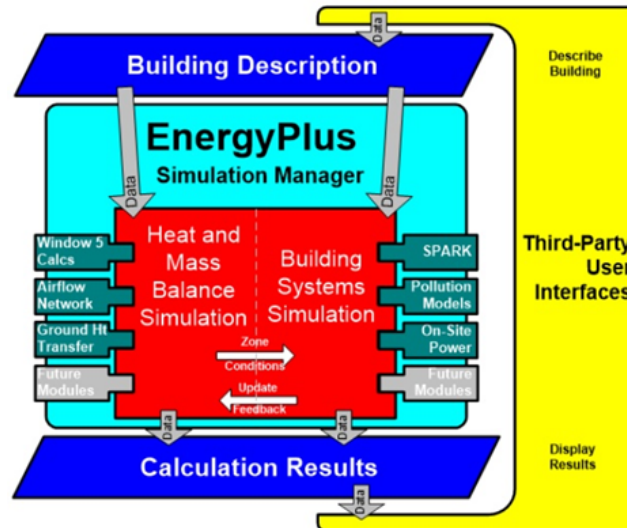


Figura 2.1: Modularidade do EnergyPlus [2]

Um dos pontos fortes do *EnergyPlus* é a integração das cargas, sistemas e planos de arquitetura na mesma simulação. O diagrama seguinte mostra uma vista geral sobre estes importantes elementos na simulação energética de um edifício.

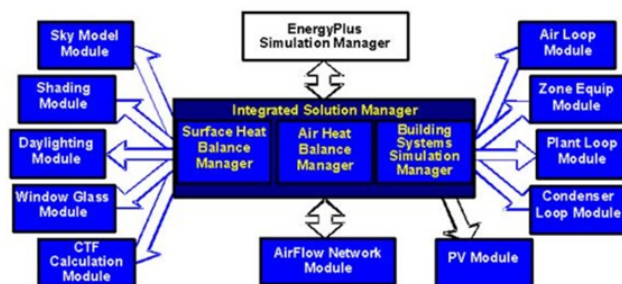


Figura 2.2: Elementos internos [2]

O *EnergyPlus* necessita de vários dados de entrada que descrevam as características do edifício a ser modelizado assim como a informação sobre o ambiente que o rodeia. Após a realização da simulação o *EnergyPlus* cria ficheiros de saída com os resultados da simulação.

Os ficheiros de entrada são:

IDD – Input data dictionary (IDD) é um ficheiro de texto ASCII que contém a lista de possíveis objetos e especificações dos dados que cada objeto requer;

IDF - Input data file (IDF) é um ficheiro de texto ASCII que contém informação relativa à geometria do edifício bem como a divisão em zonas, parâmetros energéticos de cada zona e materiais constituintes do edifício, entre outra informação relevante para poder efetuar a simulação;

EPW – EnergyPlus weather file é um ficheiro de texto que contém os dados meteorológicos, com base horária e sub-horária, necessários para a simulação. O ficheiro meteorológico, com extensão *.epw, tem de ter um formato específico de modo a que o *EnergyPlus* o consiga ler para assim realizar a simulação energética em função da localização do edifício. O *EnergyPlus* disponibiliza ficheiros meteorológico para 2100 localidades espalhadas pelo mundo dos quais 8 encontram-se em Portugal.

Um ficheiro IDF é constituído por um conjunto de objetos IDF com uma estrutura semelhante. A primeira linha de um objeto IDF descreve o tipo de objeto e as linhas seguintes descrevem os valores dos diversos parâmetros associados ao objeto IDF separados por vírgulas. O último campo de um objeto termina com um ponto e vírgula para assinalar o fim do objeto. Os comentários são assinalados com o símbolo “!-“ e as mudanças de linha são opcionais e servem principalmente para uma melhor leitura.

```
Output:Variable,
*,
Facility Total HVAC Electric Demand Power,
hourly;
```

!- Key Value
!- Variable Name
!- Reporting Frequency

Figura 2.3: Exemplo de algumas linhas do ficheiro idf

Os resultados das simulações realizadas pelo *EnergyPlus* são colocados nos ficheiros de saída. Os mais relevantes são:

- *.err – Ficheiro que contém os erros da simulação
- *.eso – Ficheiro que contém os resultados de saída
- *.eio – Ficheiro de saída que contém informação opcional
- *.rdd – Dicionário das variáveis de saída
- *.end – retorna o sucesso ou falha da simulação

O *EnergyPlus* possui um simples interface, o *EP-Launch*, que fornece uma alternativa para correr o *EnergyPlus* sem necessidade de utilizar a linha de comandos. O *EP-Launch* permite ao utilizador selecionar o ficheiro de entrada(idf) e o ficheiro meteorológico(epw). Após a simulação estar concluída o *EP-Launch* indica se ocorreu algum erro ou aviso e tem a capacidade de abrir o editor de texto tanto para os ficheiros de entrada assim como os ficheiros de saída.

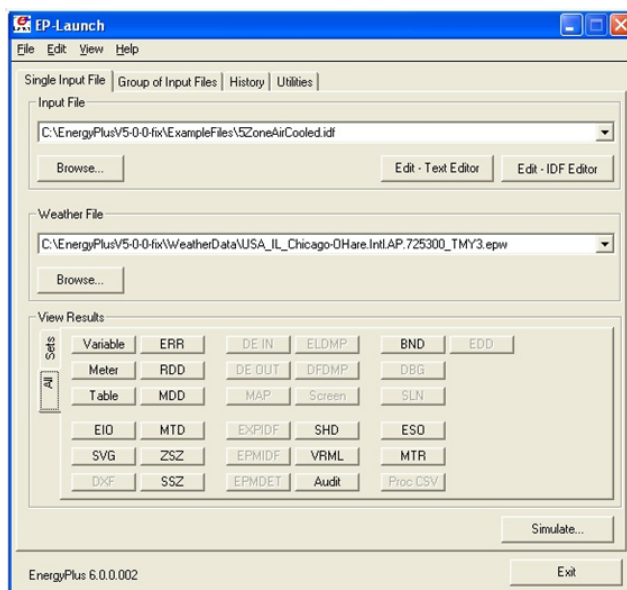


Figura 2.4: Interface do EP-Launch

O *IDF Editor* permite a criação ou edição dos ficheiros de entrada (IDF) do *EnergyPlus*. Através do *IDF Editor* qualquer objeto do *EnergyPlus* pode ser visualizado e editado e é automaticamente fornecida uma lista de objetos quando é necessária a ligação entre objetos. O ficheiro de saída do *IDF Editor* é um ficheiro de entrada do *EnergyPlus* com sintaxe própria e comentado de forma a auxiliar o utilizador a perceber os valores de entrada. [3]

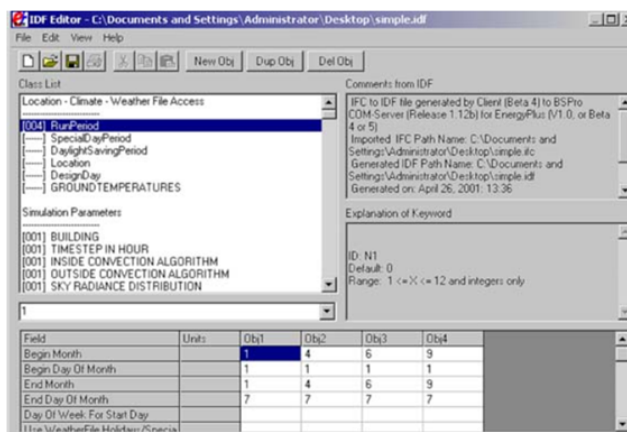


Figura 2.5: Interface do IDF Editor [3]

O *EP-Compare* permite uma comparação direta entre várias simulações realizadas com o *EnergyPlus*. Dois ou mais ficheiros podem ser diretamente comparados através de vários tipos de gráficos. Os resultados a apresentar podem ser definidos pelo utilizador para cada variável no *EnergyPlus* e o *EP-Compare* fornece um método para comparar os valores gerados pela simulação.

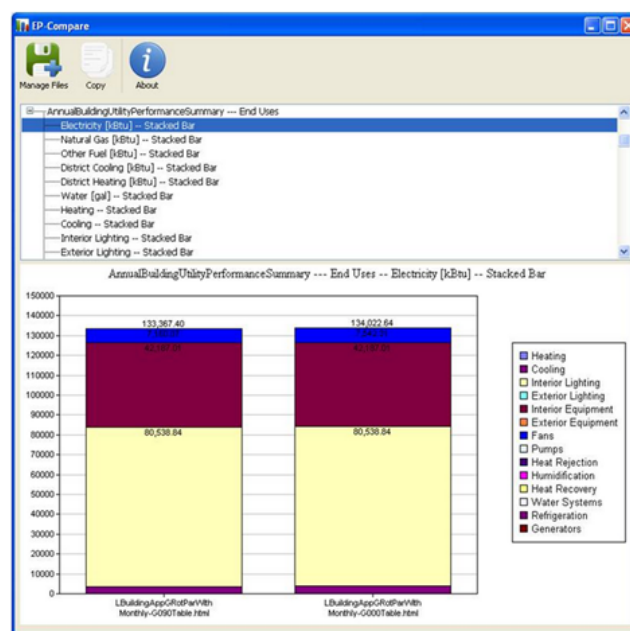


Figura 2.6: Interface do EP-Compare

O *EnergyPlus* não possui uma interface gráfica que permita visualizar o edifício em 3D o que, especialmente para grandes edifícios, pode tornar o processo de modelização de um edifício bastante demorado e pouco intuitivo. Contudo existem *add-ons* que facilitam a interação com o simulador.

Vantagens do EnergyPlus

- . *Software* gratuito
- . *open-source*
- . há uma grande comunidade que contribui para um *software* cada vez mais robusto
- . capacidades de simulação precisas e detalhadas recorrendo a recursos de modelação complexos
- . ficheiros de informação meteorológica disponíveis para uso no *website*
- . corre nos sistemas operativos *Windows*, *Linux*, e *Mac OS*
- . Combina as melhores características do sistema DOE-2 e BLAST
- . Existem *add-ons* que facilitam a comunicação com o simulador

Desvantagens/Limitações do EnergyPlus

- . Não possui *interface* gráfica
- . Exporta as suas saídas para um ficheiro *.eso.
- . Não exporta os resultados diretamente para um ficheiro com formato que possa ser aberto uma folha de cálculo. Torna-se necessário recorrer ao executável *ReadVarsEso.exe* para que o ficheiro com os resultados de saída *.eso seja transformado num ficheiro *.csv.

. Não possui saídas relacionadas com os custos energéticos por variável energética de saída. É possível introduzir tarifas energéticas mas apenas é obtido o cálculo do custo energético total do edifício para o período de simulação.

2.2 jEplus

O *jEplus* é uma ferramenta informática *open source* escrita em *Java* que utiliza como motor o *EnergyPlus* para realizar as simulações. [10] O *jEplus* funciona nas plataformas *Windows*, *Mac* e *Linux*. Para a utilização deste *software* é necessário estar familiarizado com o funcionamento do *EnergyPlus* e possuir conhecimentos na modelização dos seus ficheiros. É uma ferramenta informática utilizada por investigadores e engenheiros que pretendam realizar uma análise em larga escala dos seus modelos com vista à otimização.

As análises paramétricas são muitas vezes utilizadas para explorar opções de *design* assim como identificar a relação entre os parâmetros e a performance. O *jEplus* foi desenvolvido especificamente para executar análises paramétricas com recurso ao *EnergyPlus*. O *jEplus* fornece um *user interface* para que parâmetros possam ser criados assim como permite a edição dos modelos, gerir o andamento das simulações e recolha dos resultados. Com esta ferramenta é possível criar centenas de simulações em poucos minutos. O *jEplus* utiliza como entradas os ficheiros IDF/IMF, ficheiros meteorológicos e ficheiros RVI/RVX que permitem definir as saídas.

As principais características do *jEplus* são:

- . *User interface* que fornece controlos para definir e gerir projetos paramétricos;
- . Criação de projetos que podem ser executados com recurso a vários computadores;
- . Suporta todas as versões do *EnergyPlus*;
- . Sintaxe flexível na especificação dos valores dos parâmetros;
- . Gestão de simulações em paralelo;
- . Os resultados das simulações podem ser reunidos a partir de vários ficheiros de saída do *EnergyPlus* para formato *.csv;
- . Interface de Linha de Comando para aplicar o *jEplus* como um gestor de simulações em outros programas/ferramentas. [11]

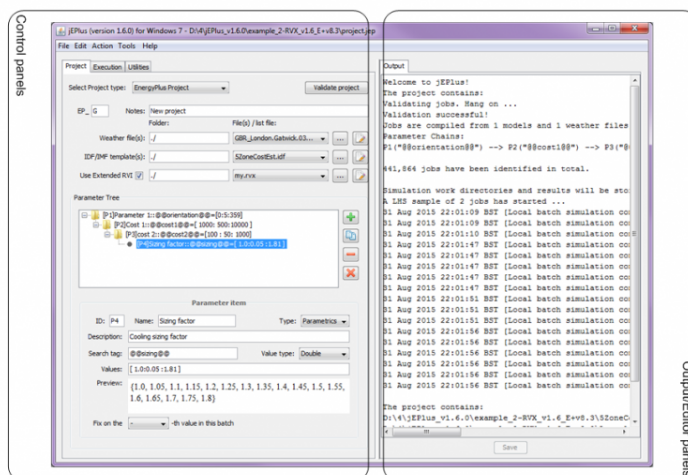


Figura 2.7: jEPlus interface [4]

2.3 OpenStudio

O *OpenStudio* é uma ferramenta informática multiplataforma (Windows, Mac e Linux) destinado a realizar modelizações energéticas para edifícios utilizando como motor de simulação os programas informáticos *EnergyPlus* e *Radiance*. O *OpenStudio* é desenvolvido pelo NREL e pelo DOE, sendo um *software open source* de forma a facilitar o seu desenvolvimento e ampliação. Esta ferramenta possui uma interface gráfica juntamente com um kit de desenvolvimento (SDK). As capacidades e características do *OpenStudio* aqui apresentadas baseiam-se fundamentalmente em informações fornecidas na sua página web [12]. O *OpenStudio* está em constante desenvolvimento pelo que todos os anos são lançadas 4 versões com novas funcionalidades e atualizações. [13]

As aplicações gráficas disponibilizadas pelo *OpenStudio* incluem o *OpenStudio SketchUp Plug-in*, *OpenStudio Application*, *ResultsViewer* e *Parametric Analysis Tool*.

O *OpenStudio SketchUp Plug-in* é uma extensão para a ferramenta de modelização do popular *SketchUp 3D* da *Trimble* que permite aos utilizadores criarem rapidamente a geometria necessária para que essa informação possa ser utilizada pelo *EnergyPlus*. Adicionalmente, o *OpenStudio* suporta a importação de gbXML para a criação de geometria.

Algumas das características do *SketchUp Plug-in*:

- . Possibilidade de seleccionar como ponto de partida um *template*, contendo tipos de espaços e construções;
- . Desenhar em 2D e passar rapidamente para uma geometria em 3D;
- . Desenhar um novo edifício ou editar um já existente em 3D;

- . Adicionar o sombreamento do local;
- . Especificar a atividade do edifício .

A *OpenStudio Application* é uma interface gráfica que permite modelizar vários aspetos do edifício. Algumas das características da *OpenStudio Application*:

- . Adicionar cargas, horários, tipos de espaços, zonas térmicas, sistemas mecânicos, etc;
- . Criar sistemas AVAC usando uma interface *drag-and-drop*;
- . Adicionar sistemas de refrigeração com visualização do desenho esquemáticos ou com informação em grelha;
- . Mudança do modelo através da funcionalidade *Apply Measures Now*;
- . Correr a simulação;
- . Visualização das saídas da simulação.

O *ResultsViewer* permite visualizar os dados de saída, após a realização da simulação, através de gráficos assim como comparar as simulações.

A *Parametric Analysis Tool* permite estudar o impacto da aplicação de várias combinações de medidas do *OpenStudio* em relação a um modelo base.

O *OpenStudio* está constantemente a ser atualizado, estando de momento na sua versão 1.11.0. Das atuais características e capacidades pode-se destacar:

Geometria do edifício em 3D

- . desenho do edifício em 3D através do *plug-in* gratuito para o *SketchUp*
- . *Building envelope*, sombreamento nas janelas, sombreamento de outros edifícios, etc
- . desenho de formas detalhadas
- . importação de geometria a partir de ficheiros *gbXML* (*Revit*, *GreenBuilding Studio*, *Trace700*, etc.)
- . importação de geometria a partir de ficheiros *EnergyPlus* (IDF)
- . importação de modelos a partir de ficheiros SDD
- . atribuir e inspecionar os diferentes tipos de espaços
- . definir zonas térmicas e adicionar/remover espaços
- . adicionar sensores de luz do dia

Construção do edifício e materiais

- . Especificar os materiais para cada tipo de superfície e subsuperfície (paredes exteriores, janelas, chão, etc.)
- . Especificar propriedades detalhadas das janelas
- . Livraria de construções para edifícios incluídos (paredes, janelas, portas, chão, etc.) para todos os tipos de edifícios referência do DOE e ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*)

. Livraria *online* dos materiais utilizados em edifícios e as suas propriedades de modelização a partir do *ASHRAE handbook*

Cargas dos edifícios

- . Especificação no número de pessoas, iluminação, *plug loads*, cargas de gás, cargas de vapores, massa interior, utilização de água, ventilação e infiltrações
- . Possibilidade de introduzir as cargas por área
- . Livraria dos tipos de edifícios (cargas e horários associados) para os edifícios referência do DOE

Visualização em grelha para zonas térmicas e tipo de espaços

- . Permite a visualização em grelha e edição das diferentes zonas térmicas e dos diferentes tipos de espaços de forma a toda a informação ser visível permitindo a comparação de definições

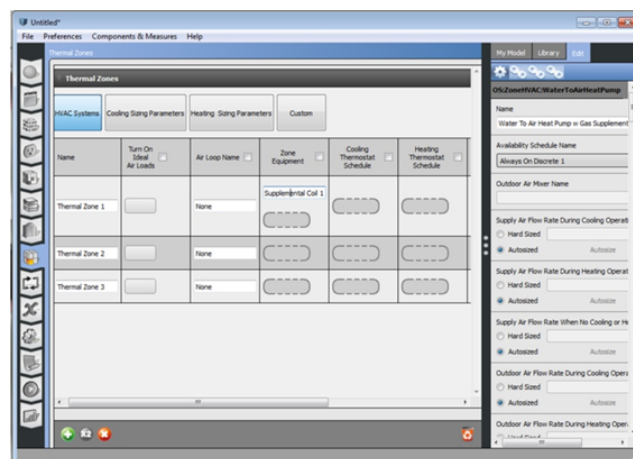


Figura 2.8: Interface do OpenStudio - Edição e comparação de definições das zonas térmicas e tipos de espaços

AVAC

- . representação gráfica dos sistemas AVAC, zonas e as suas ligações
- . *Drag-and-drop* componentes no diagrama do sistema AVAC
- . *Templates* dos sistemas AVAC para os tipos de sistemas *ASHRAE Appendix G*

Sistemas de água quente, fria e condensada

- . Caldeiras de todos os combustíveis
- . *District heating* e *district cooling*
- . Torres de arrefecimento de uma ou duas velocidades
- . Tubos *bypass*
- . Bombas de velocidade constante ou variável

Componentes do sistema de ventilação

- . Sistemas *bypass* de transição
- . Velocidade das ventoinhas constante ou variável
- . Humidificadores com sensor de humidade por zona
- . Terminais VAV e CAV reaquescidos
- . Difusores
- . Terminais de indução de quatro tubos

Sistema de controlo de ventilação

- . Controlo de ciclos noturnos (todo o sistema e/ou ventoinhas no terminal)
- . Calendarizado
- . Controlo do sistema VAV em cada zona

Aquecimento e arrefecimento por zona

- . Aquecedor unitário (De todos os combustíveis)
- . Aquecimento radiante a baixas temperaturas
- . Ventoinhas de escape
- . Aquecedores radiantes de altas temperaturas (gás e elétrico)

Luz natural

- . Adição de pontos de controlo da luz do dia através do *plugin* do *SketchUp*
- . Simular a análise da luz do dia utilizando o software *Radiance*
- . Controlo da iluminação do *EnergyPlus* baseado na luz do dia disponibilizado pelo *Radiance*

Opções de importação e exportação de ficheiros

- . Importação de ficheiros IDF (geometria, construções, cargas, zonas térmicas e horários)
- . Exportação de ficheiros IDF (modelo completo incluído o sistema AVAC)
- . Importação de gbXML (geometria, construções, zonas térmicas e horários)
- . Exportação de gbXML (geometria, construções e zonas térmicas)
- . Importação SDD (formato de simulação – modelo completo incluindo AVAC)
- . Exportação SDD (formato input – geometria, construções e zonas térmicas)

Análise de edifícios existentes

- . Utilização das faturas para todos os tipos de combustíveis utilizados no edifício
- . Simula o modelo utilizando dados meteorológicos
- . Automaticamente compara os resultados do modelo com as faturas

Livrarias . Tipos de espaços (pessoas, iluminação, equipamento, ventilação, infiltração, horários) para os edifícios referência do DOE (pré 1980, 1980-2004 e 2004), ASHRAE 189.1-2009, ASHRAE 90.1-2007 e ASHRAE 90.1-2010

. Construções dos edifícios (paredes, janelas, portas, chão, etc.) para os edifícios referência do DOE (pré 1980, 1980-2004 e 2004), ASHRAE 189.1-2009, ASHRAE 90.1-2007 e ASHRAE 90.1-2010

- . Extensa livraria online de materiais a partir do *ASHRAE Handbook of Fundamentals*

- . Extensa livreria online de ficheiros meteorológicos e condições do *design day*

2.4 DesignBuilder

O *DesignBuilder* é um programa informático, não gratuito, que combina avançadas simulações energéticas com a rápida tecnologia de modelação existente no mercado para que os profissionais possam reduzir o impacto dos edifícios no ambiente.

Este software permite uma fácil comparação de alternativas de design, otimizar o design em qualquer etapa, modelizar edifícios complexos, importar dados BIM e CAD, gerar imagens e vídeos assim com permite simplificar a simulação térmica do *EnergyPlus*. [14]

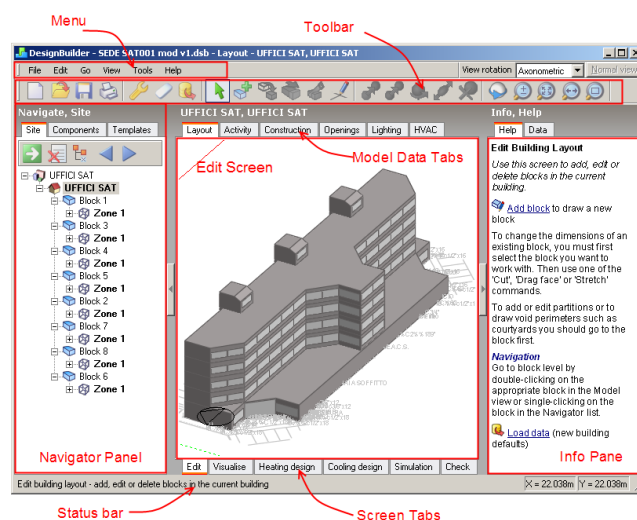


Figura 2.9: *DesignBuilder* interface [5]

Das principais características do *DesignBuilder* pode-se destacar: [15]

Simulação e Design

- . Calcula as cargas de aquecimento e arrefecimento necessárias utilizando o método *Heat Balance* aprovado pela ASHRAE e implementado no *EnergyPlus*
- . Corre simulações do modelo utilizando informação meteorológica horária e real de forma a verificar como o edifício se comportaria sob determinadas condições
- . Verifica os efeitos de design alternativos com base em parâmetros chave tais como os consumos anuais de energia, horas de sobreaquecimento e emissões de CO₂
- . Vários dados da simulação podem ser visualizados em intervalos anuais, mensais, diários, horários e sub-horários
- . Disponíveis dados de informação meteorológica de diversas localidades
- . Transferência de calor através dos materiais do edifício incluindo paredes, telhado, infiltrações, ventilação, etc

- . Produção de CO₂
- . Análise detalhada de sistemas AVAC
- . A ventilação natural pode ser modelizada com a opção para as janelas abrirem com base em setpoints de temperatura; a abertura pode ser modelizada consoante a temperatura exterior
- . Modelização dos sistemas de controlo da iluminação utilizando um ou dois sensores por zona. Cálculo da poupança na iluminação elétrica
- . Características arquitetónicas tais como colunas, toldos e complexos dispositivos de sombreamento podem ser considerados, incluindo os efeitos de sombreamento e reflexo
- . Gera ficheiros IDF que permite trabalhar com outras ferramentas informáticas que possuam outras funcionalidades não fornecidas pelo DesignBuilder.

Interface

- . A modelização de edifícios utilizando *OpenGL* (Open Graphics Library) permite a criação de blocos em 3-D. Os blocos podem ser cortados e esticados permitindo trabalhar qualquer geometria
- . Alterações profundas podem ser realizadas ao modelo ao nível do edifício, zona ou bloco
- . Modelos CAD 3-D podem ser importados usando *gbXML*
- . A geometria do edifício pode ser importada a partir de um plano CAD 2-D podendo o *DesignBuilder* criar “blocos” em 3-D
- . Criação de imagens e filmes detalhados do edifício incluindo sombreamentos

Dados

- . Dados meteorológicos de milhares de localidades do mundo estão incluídos no *software*
- . O *software* tem incluído uma base de dados UK NCM (*National Calculation Method*)
- . *Templates* permitem carregar dados relativos a construção de edifícios, actividade e sistemas de iluminação e AVAC
- . Possibilidade de criar um *template* personalizado

Visualização

- . Imagens realísticas podem ser geradas e exportadas
- . Explorar o modelo usando o *simple view* ou *walk-through*
- . Análise do sombreamento para qualquer dia do ano
- . vídeos em AVI do sombreamento solar
- . Possibilidade de exportar o modelo realizado com o *DesignBuilder* para outra aplicação CAD tal como o *AutoCAD*, *Microstation* ou *SketchUP*

O *DesignBuilder* é uma solução modular com um núcleo modelador 3D de 9 módulos que trabalham em conjunto para fornecer uma análise aprofundada da utilização da energia. Todos os módulos comunicam entre si podendo o utilizador adquirir um módulo individual ou um pacote de módulos. [15]

	Energy Assessor		Architectural		Engineering		
	Essentials	Plus	Essentials	Plus	Essentials	Plus	Pro
Modules:							
3-D Modeller	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Visualisation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Certification	✓	✓					
Simulation		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Daylighting		✓	✓	✓	✓	✓	✓
HVAC					✓	✓	✓
Cost				✓	✓	✓	✓
LEED					✓	✓	✓
Optimisation				✓		✓	✓
CFD							✓
	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy

Figura 2.10: Módulos e Pacotes disponibilizados pelo *DesignBuilder*

Características do módulo *3-D Modeller*:

- . Entrada e armazenamento de dados de entrada tais como atividade, construções, vidros, AVAC, renováveis, custos, etc.
- . Inclui *templates* que possibilitam uma forma rápida de obter informação geralmente utilizada para o modelo.
- . A geometria do edifício é realizada colocando blocos em 3D com opções para cortar, fundir, esticar e dimensionar os blocos utilizando ferramentas simples.
- . Paredes, chão, telhados e janelas são todos representados em 3D.
- . Gera imagens e videos do design do edifício incluindo o efeito de sombreamento [16].

Características do módulo *Visualization*:

- . Visualização de imagens realistas com sombreamento e com um cenário altamente interativo.
- . Permite explorar o modelo usando o *Walk-through* ou vista simples.
- . Análise do sombreamento para qualquer altura do dia ou qualquer dia do ano
- . Criar vídeos mostrando a trajetória solar e sombreamento para qualquer dia do ano [17]

Características do módulo *Certification*:

- . Gera EPCs (*Energy Performance Certificates*)
- . Fornece relatórios de recomendação standard e personalizados
- . Utiliza os cálculos do último SBEM (*Simplified Building Energy Model*) 2013 com opções para o SBEM 2010 [18]

Características do módulo *Simulation*:

- . O *EnergyPlus* está fortemente ligado a este módulo fornecendo avançadas simulações térmicas para intervalos de tempo sub-horários.
- . Fornece dados de performance da energia consumida, emissões de carbono, níveis de conforto para intervalos anuais, mensais, diários, horários e sub-horários.

- . Fornece relatórios dos ganhos solares em superfícies e temperatura das superfícies.
- . Acesso a uma vasta gama de resultados para os edifícios e sistemas.
- . Estima a performance passiva, massa térmica e a distribuição de temperatura.
- . Exporta as temperaturas das superfícies e o fluxo de ar como condições fronteiras para análise detalhada CFD (*Computational Fluid Dynamics*)
- . Dimensionamento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento [19]

Características do módulo *Daylighting*:

- . Gera desenhos de alta qualidade para ilustrar a disponibilidade de luz diurna em cada zona
- . Simulação que considera a transmissão de luz, entre as várias zonas, através de janelas exteriores e interiores
- . Apresenta imagens realistas [20]

O *DesignBuilder* utiliza o *EnergyPlus* como motor para as simulações dos sistemas AVAC. Os sistemas AVAC podem ser dimensionados de raiz, contudo uma vasta gama de *templates* de sistemas AVAC estão disponíveis através de um avançado ambiente gráfico.

Especificações técnicas do módulo *HVAC*:

- . No *EnergyPlus* os sistemas AVAC e os modelos dos edifícios em 3D são simulados simultaneamente para garantir uma interação dinâmica e precisa entre os sistemas e o edifício
- . Definição gráfica do fornecimento de água fria e quente, condensadores e *air loops* através da colocação de componentes, *mixers* e *splitters*
- . Seleção dos sistemas AVAC a partir de *templates* ou definição dos sistemas manualmente
- . Extensa biblioteca dos componentes do *EnergyPlus* incluindo caldeiras, *chillers*, *heating coils*, bombas de aquecimento, *cooling coils*, bombas, ventoinhas, humidificadores, etc.
- . Todos os tipos de sistemas AVAC ASHRAE 90.1 estão incluídos
- . Representação gráfica das zonas
- . Todas as saídas do *EnergyPlus* para AVAC podem ser geradas
- . Tetos refrigerados e piso aquecido podem ser combinados com outros tipos de sistemas
- . Múltiplas unidades de tratamento de ar
- . Capacidade de importar/exportar assim como criar e guardar sistemas personalizados para a livreria [21]

Especificações técnicas do módulo *Cost*:

O módulo *Cost* calcula o impacto económico do edifício através dos custos de construção, tarifários e análise do ciclo de vida do edifício. A análise do ciclo de vida aplica procedimentos *standard* tendo em consideração:

- . custos de construção
- . custos operacionais baseados nas tarifas de utilização
- . custos recorrentes como manutenção e reparação
- . taxas de desconto
- . impostos

. inflação [22]

Características do modulo *LEED*(*Leadership in Energy And Environmental Design*):

. Todas as construções, materiais, vidros, atividades, iluminação e sistemas AVAC necessários para ASHRAE 90.1.2007 e 2010 estão incluídos e automaticamente configurados no modelizador do *DesignBuilder*

. Inclui sistemas AVAC detalhados para todos os tipos de sistemas AVAC necessários no Appendix G [23]

Especificações técnicas do módulo *Optimization*:

O módulo *Optimization* possibilita a identificação das opções de design com as melhores combinações de custos, energia e conforto. Este módulo pode ser utilizado em estudos de custo-benefício ajudando a pesar o impacto entre medidas de poupança de energia e o seu custo. Permite também selecionar o custo eficiente de iluminação, vidros, construção, renováveis e sistemas AVAC, permitindo identificar estratégias de controlo ótimas para sistemas AVAC complexos e sistemas de ventilação natural. O módulo *Optimization* pode também ser utilizado para estudos de ciclo de vida. [24]

O módulo *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) fornece dados detalhados e em 3-D de temperatura, conforto e fluxo de ar dentro do edifício tendo em consideração a temperatura das superfícies, fontes de calor interiores e sistemas AVAC. [25]

Capítulo 3

Metodologia Desenvolvida

Neste capítulo é apresentado detalhadamente a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos. Aqui estão indicadas todas as ferramentas informáticas que foram utilizadas neste projeto assim como os passos dados em cada uma dessas ferramentas.



Figura 3.1: Ferramentas informáticas utilizadas por ordem de utilização

3.1 Ficheiro meteorológico

Para a realização deste projeto foi utilizada informação de previsão meteorológica de duas semanas – 1 semana de verão e 1 semana de inverno. A informação meteorológica, para a localidade da Maia, foi gentilmente fornecida pela *SmartWatt*.

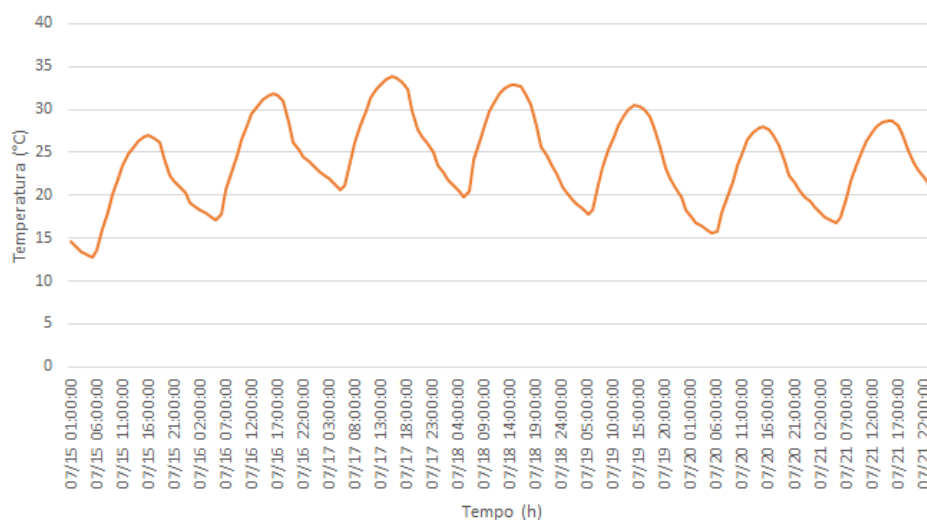


Figura 3.2: Previsão de temperatura para a semana de verão - 15 a 21 de julho

Para a semana de verão foi prevista uma temperatura média de 24.1°C, em que a temperatura máxima prevista é de 33.9°C e a mínima é de 12.7°C.

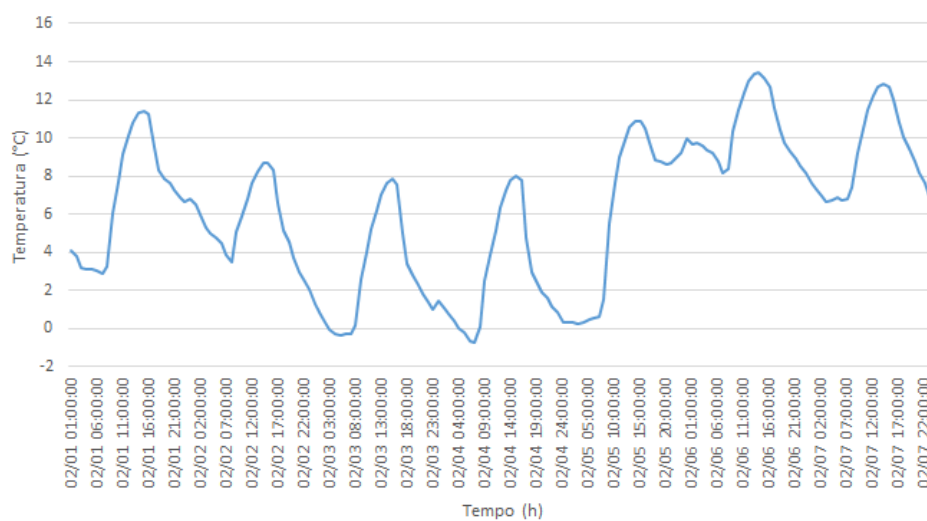


Figura 3.3: Previsão de temperatura para a semana de inverno – 1 a 7 de fevereiro

Para a semana de inverno foi prevista uma temperatura média de 6.2°C, em que a temperatura máxima prevista é de 13.4°C e a mínima é de -0.8°C.

Os simuladores energéticos de edifícios utilizam informação meteorológica para que possam simular a resposta do edifício a essas condições. Dada a importância dos dados meteorológicos na simulação energética em edifícios, existe um formato de ficheiro meteorológico(TMY -*Typical*

Meteorological Year) que é utilizado por diversos simuladores. Para além de informação meteorológica, estes ficheiros contêm informação sobre a localização geográfica, informação relativa à temperatura do solo assim como possuem um campo específico onde é possível definir períodos meteorológicos típicos e extremos. É também possível introduzir neste tipo de ficheiros informação relativa ao início e final do verão, informação sobre os feriados que o período de simulação possui assim como indicar se, para o período a simular, estamos perante um ano bissexto ou comum. Esta informação está contida nas 8 primeiras linhas do ficheiro meteorológico. O ficheiro meteorológico utilizado pelo *EnergyPlus* tem a extensão *.epw, em que este ficheiro tem os seus dados separados por vírgulas sendo possível editar/criar este tipo de ficheiros recorrendo a um editor de texto (*Notepad*).

[illegible]

Figura 3.4: Exemplo de parte de um ficheiro meteorológico(*.epw)

Na figura anterior é apresentado parte de um ficheiro meteorológico editado com recurso ao *Notepad*. Contudo a informação nele contida não é muito perceptível e a sua edição para alteração dos valores dos diversos parâmetros torna-se um processo bastante moroso e com bastante probabilidade de ocorrência de erros. Torna-se mais prático criar o ficheiro meteorológico recorrendo a uma folha de cálculo em que todos os parâmetros ficam bem evidenciados nas suas respetivas colunas e linhas. Desta forma é possível converter o ficheiro criado através da folha de cálculo (*.xlsx) para um ficheiro separado por vírgulas (*.csv). O ficheiro meteorológico tem extensão *.epw pelo que é possível alterar manualmente a extensão *.csv para *.epw obtendo-se assim o ficheiro meteorológico final. O *website* do *EnergyPlus* disponibiliza dois manuais que são fundamentais para a compreensão da manipulação dos ficheiros meteorológicos: *InputOutputReference* [19] e *AuxiliaryPrograms* [20]. O ficheiro meteorológico é constituído por 35 colunas em que cada coluna corresponde a um diferente parâmetro. O *EnergyPlus* não utiliza todos esses parâmetros para realizar as suas simulações, utiliza 18, pelo que serão aqui indicados quais os dados que o *EnergyPlus* pode utilizar nas suas simulações.

Ano

Mês
Dia
Hora
Minuto
Temperatura *Dry Bulb* (°C)
Temperatura *Dew Point* (°C)
Humidade relativa (%)
Pressão atmosférica (Pa)
Intensidade de radiação horizontal infravermelha (Wh/m²)
Radiação normal direta (Wh/m²)
Radiação horizontal difusa (Wh/m²)
Direção do vento (graus)
Velocidade do vento (m/s)
Observação meteorológica
Código meteorológico
Profundidade da neve (cm)
Profundidade de precipitação (mm)

3.2 Sketchup e OpenStudio Plug-in

O *SketchUp* é um programa de modelização em 3D que permite a criação de um modelo 3D de qualquer objeto. Neste projeto o *SketchUp* foi utilizado para desenho do edifício.

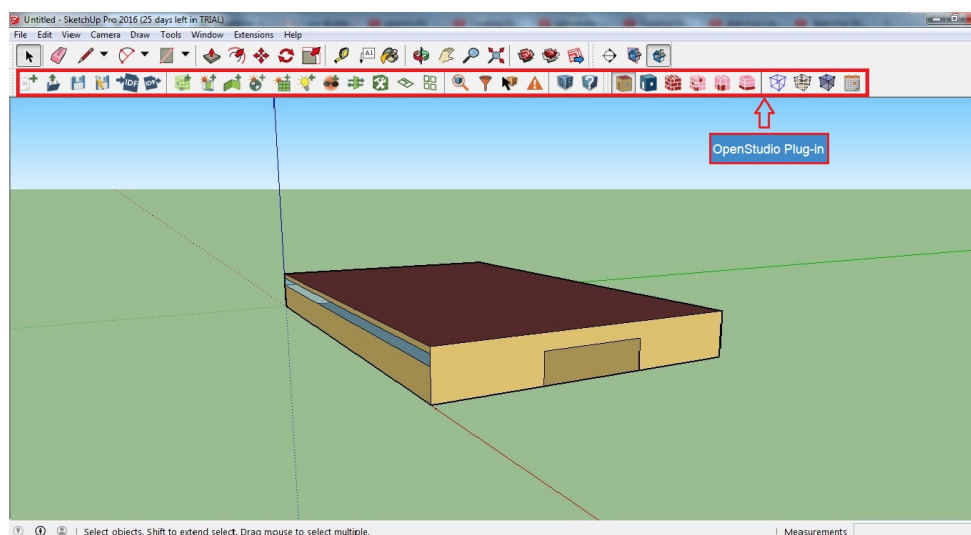


Figura 3.5: Modelização do edifício com recurso ao SketchUp

O edifício modelizado é uma superfície comercial para a atividade de comércio de pronto a vestir. O edifício, de superfície retangular, tem 30 metros de largura por 50 metros de comprimento

perfazendo uma área de superfície total de 1500m². A sua altura é de 4.57 metros o que confere um volume de 6855m³. O edifício possui uma porta/vitral com 10 metros de largura por 3 metros de altura orientada para Este e centrada nessa fachada. As janelas estão presentes nas restantes 3 fachadas tendo cada uma delas 1 metro de altura estando todas situadas entre os 3 metros e os 4 metros de altura a partir do solo.

Na figura 3.5 é possível visualizar o exterior do edifício modelizado com recurso ao *SketchUp*. É importante salientar a presença do *OpenStudio Plug-in* que está evidenciado na barra de ferramentas da figura. Este *Plug-in* é instalado no computador após a instalação do *SketchUp* e tem como finalidade realizar a transição do modelo 3D para o programa de simulação energética em edifícios – *OpenStudio*.

De seguida são explicados os passos dados para a criação deste modelo:

1. Criação de um novo modelo

A criação deste modelo é realizada através da barra de ferramentas do *OpenStudio Plug-in*. Foi selecionado o modelo *SuperMarket.osm* permitindo desta forma a que sejam adicionados automaticamente os materiais de construção ao tipo de edifício em questão em função da sua localização no globo terrestre (*Template*: 189.1-2009; ASHRAE Climate Zone: ASHRAE 169-2006-3C)

2. Criação da geometria de superfície do edifício

3. Definição da altura do edifício

4. Adição da porta na fachada orientada para Este

5. Adição das janelas na fachada Norte, Sul e Oeste

6. *Project Loose Geometry*

Esta opção faz com que todas as geometrias até aqui criadas sejam vistas automaticamente pelo *OpenStudio* como diferentes superfícies a que são atribuídas distintos materiais consoante a sua localização (Paredes, janelas, porta, Piso, Telhado,...)

7. *Surface Matching Tool*

Permite ao *OpenStudio* reconhecer quais as superfícies que fazem parte de uma determinada zona

8. Criação de zonas térmicas

Este passo é fundamental para que o sistema AVAC reconheça determinada zona como uma *Thermal Zone* de forma a que posteriormente um termostato seja adicionado.

3.3 OpenStudio

O *OpenStudio* é um simulador energético para edifícios que possui uma interface gráfica que torna a sua utilização mais intuitiva do que o *EnergyPlus*. Com o *OpenStudio* é possível adicionar informação ao modelo previamente criado no *Sketchup* e *OpenStudio Plug in*. Neste projeto foi utilizada a versão 1.10.0 do *OpenStudio* que tem como motor de simulação a versão 8.4.0 do *EnergyPlus*.

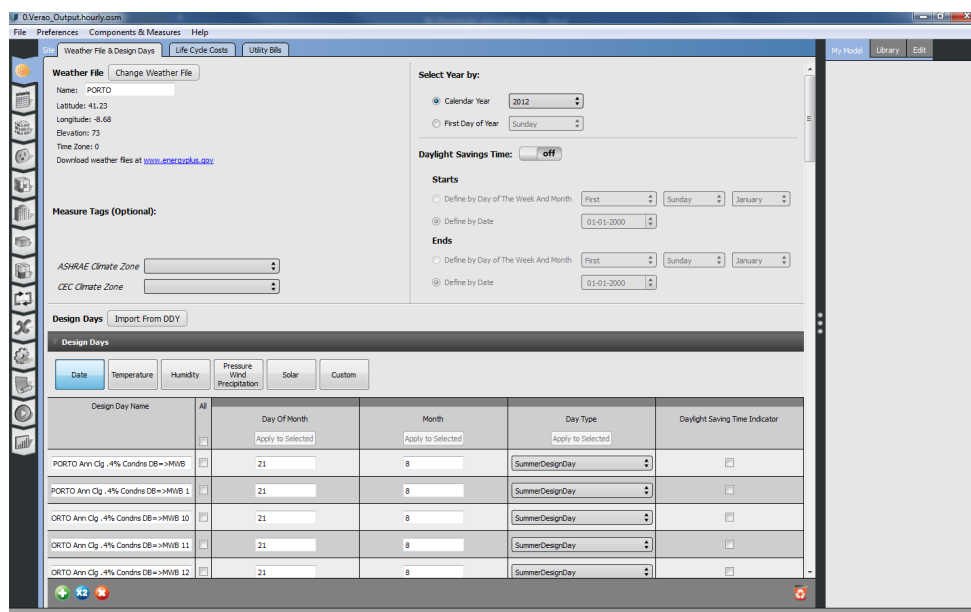


Figura 3.6: Página principal do *OpenStudio*

A página principal é destinada à entrada do ficheiro meteorológico e do *design day file*. Estes ficheiros contêm a informação de previsão meteorológica necessária para a realização deste estudo.

3.3.1 Horários

O Horário de abertura ao público deste edifício é das 9h às 21h, em que das 21h às 22h apenas os funcionários do estabelecimento se encontram no edifício para reposição de stock, manutenção e limpeza do estabelecimento. Os horários são definidos para Atividade, Equipamento elétrico, Iluminação, Ocupantes, *cooling setpoint* e *heating setpoint*.

3.3.1.1 Atividade

Neste horário é indicado um dos valores que reflete a influência que cada ocupante do edifício tem no ambiente que o rodeia. Esse valor, com unidades Watt/pessoa, varia consoante a atividade física que cada ocupante desempenha assim como difere consoante os ocupantes sejam homens, mulheres ou crianças. Através da tabela fornecida pelo documento *InputOutputReference* [26] do *EnergyPlus* é possível selecionar qual o valor que melhor se enquadra para este projeto. Uma pessoa que exerça a atividade de caminhada tem um nível de atividade de 180 W/pessoa e uma pessoa que se mantenha de pé de forma estática tem um nível de atividade de 144 W/pessoa. Como o nível de atividade típico de uma pessoa no interior de um edifício comercial pode-se enquadrar entre estes dois valores, será utilizado neste projeto um valor intermédio de 162W/pessoa. No decorrer da simulação este valor será multiplicado pelo número de ocupantes presente no edifício para cada hora, que é definido pelo horário *Ocupação do edifício*.

3.3.1.2 Equipamento Elétrico

Os edifícios podem possuir no seu interior uma larga variedade de equipamentos que consomem energia elétrica. Neste trabalho é importante prever o diagrama de cargas de todos os equipamentos elétricos do edifício. Torna-se necessário definir quais os equipamentos utilizados assim como definir a potência de cada equipamento. Para este edifício foram consideradas as seguintes cargas: caixas registradoras, equipamento informático, porta automática, sistema de videovigilância, sistema de som e equipamento de limpeza.

Tanto para a semana de verão como para a semana de inverno foi considerado o mesmo horário de funcionamento de equipamento elétrico. O horário assume valores de 0 a 1 ao longo das 24 horas do dia. Esses valores multiplicados pela potência que é estipulada no separador *Cargas-Definição do equipamento elétrico*(10000W) 3.3.2.3 dão origem ao diagrama de cargas do equipamento elétrico do edifício. O diagrama de cargas resultante dessa multiplicação será designado ao longo deste trabalho como diagrama de cargas previsto do equipamento elétrico.

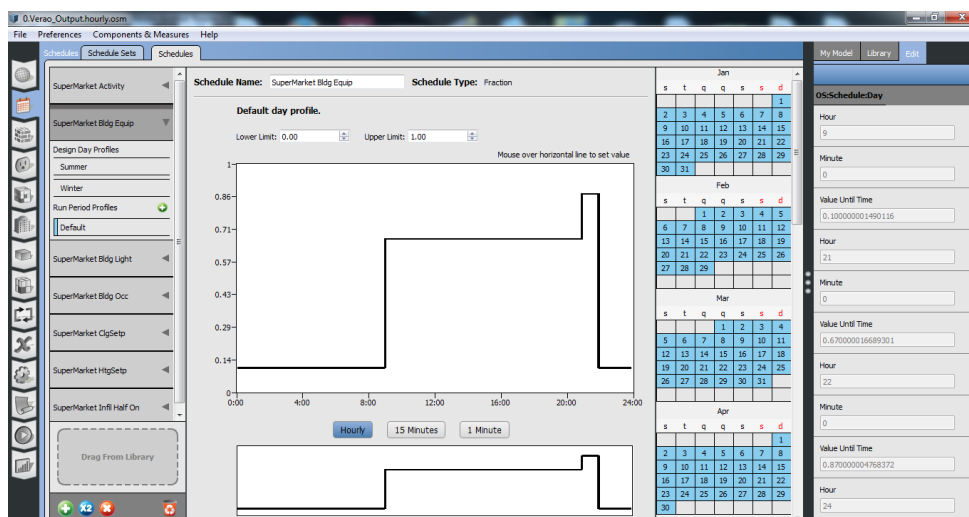


Figura 3.7: Horário do equipamento elétrico para 24 horas

Entre as 0h e as 9h o valor de carga do equipamento elétrico assume o valor de 1000W. Entre as 9h e as 21h ocorre um aumento da carga para os 6700W. Após o encerramento ao público, entre as 21h e 22h, é previsto que entre em funcionamento equipamentos de manutenção e limpeza pelo que a carga aumenta para os 8700W. Para o restante período diário, entre as 22h e as 24h a carga do equipamento elétrico volta aos 1000W.

3.3.1.3 Iluminação

Os edifícios possuem sistemas de iluminação que consomem energia elétrica. O seu horário pode ser definido no *OpenStudio* para as 24 horas do dia, em que o seu valor pode variar entre 0 e 1. Os valores definidos neste diagrama multiplicados pelo valor de potência do sistema de iluminação do edifício (3.89W/m²), na secção *Cargas-Iluminação* 3.3.2.2, dão origem ao diagrama de carga

do sistema de iluminação em que, ao longo deste trabalho, será designado como diagrama de carga previsto do sistema de iluminação.

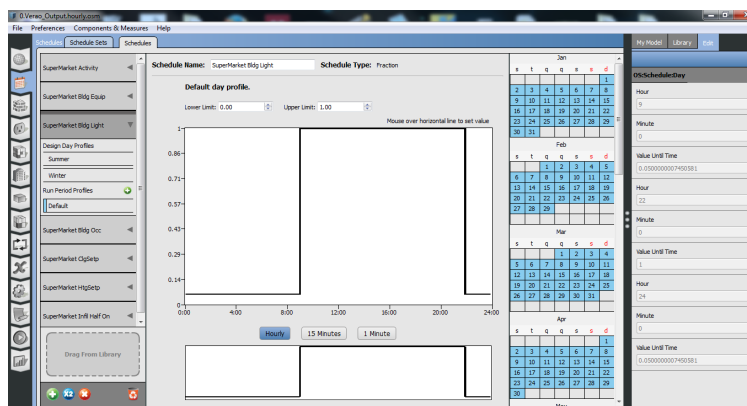


Figura 3.8: Horário do sistema de iluminação para 24 horas

Entre as 9h e as 22h a iluminação funciona a 100% da sua potência estipulada enquanto que no restante horário funciona com 5% desse valor.

3.3.1.4 Ocupação

A informação de previsão relativa ao número de ocupantes no interior do edifício é importante na medida em que o número de ocupantes pode fazer com que ocorram variações de temperatura interior, pelo que pode também influenciar os consumos do sistema AVAC. Assim torna-se importante definir o número de ocupantes do edifício para cada hora do dia. O seu valor é definido entre 0 e 1.

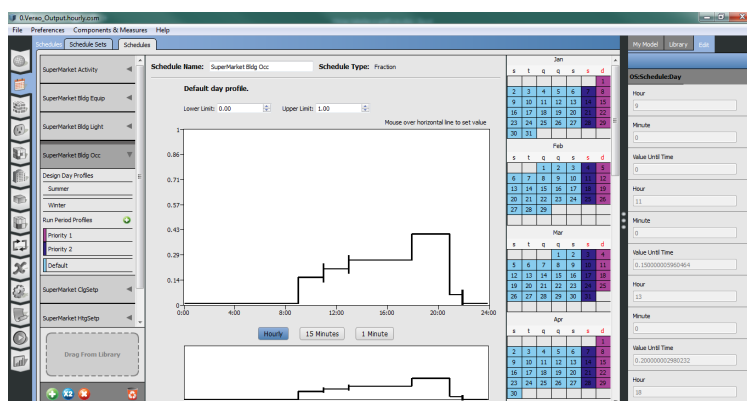


Figura 3.9: Exemplo do horário do número de ocupantes para as 24 horas de um dia da semana

Durante a semana o valor previsto de ocupantes no interior do edifício é igual tanto para a semana de verão como para a semana de inverno, sendo diferente aos fins de semana. Ao fim de

semana foi considerado que a semana de inverno tem um aumento de 10% no número de ocupantes ao sábado e ao domingo da parte de tarde.

Tabela 3.1: Definição da fração do número de ocupantes na semana de verão

Horário	2ª a 6ª feira	Sábado	Domingo
9h às 11h	0.15	0.3	0.4
11h às 13h	0.2	0.4	0.5
13h às 18h	0.25	0.6	0.9
18 às 21h	0.4	0.8	0.6
21h às 22h	0.05	0.05	0.05

Tabela 3.2: Definição da fração do número de ocupantes na semana de inverno

Horário	2ª a 6ª feira	Sábado	Domingo
9h às 11h	0.15	0.3	0.4
11h às 13h	0.2	0.4	0.5
13h às 18h	0.25	0.66	0.99
18 às 21h	0.4	0.88	0.66
21h às 22h	0.05	0.05	0.05

Os valores apresentados nas tabelas anteriores quando multiplicados pelo número de ocupantes definido na secção 3.3.2.1 (200) definem o diagrama do número de ocupantes no interior do edifício para cada dia. Para cálculos e referências futuras sobre os níveis de ocupação do edifício neste trabalho, estes valores passam aqui a ser designados como previstos.

3.3.1.5 *Cooling Setpoint*

O *cooling setpoint* é o valor que define a temperatura máxima que o interior do edifício pode assumir. Caso o valor de temperatura verificado no interior do edifício seja superior ao valor definido do *cooling setpoint*, o sistema AVAC terá de entrar em funcionamento para refrigerar o edifício. Este valor de *cooling setpoint* tem de assumir valores dentro dos limites de conforto térmico e sofrerá variações à medida que as diferentes simulações forem realizadas no decorrer deste trabalho. No *OpenStudio* o seu horário é relativo às 24 horas de um dia e para cada hora poderá ser definido um *cooling setpoint* distinto.

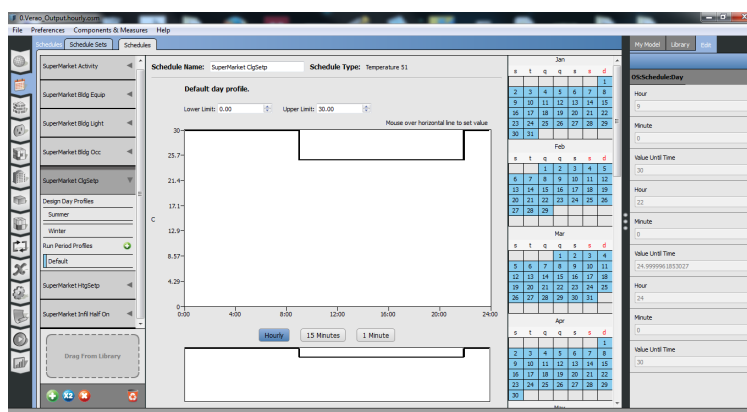


Figura 3.10: Exemplo da inserção do *Cooling setpoint* no *OpenStudio*

3.3.1.6 Heating Setpoint

O *heating setpoint* é o valor que define a temperatura mínima que se pode verificar no interior do edifício e sempre que se registar uma temperatura no interior do edifício inferior ao valor de *heating setpoint* o sistema AVAC tem de entrar em funcionamento para aquecer o edifício. A introdução dos valores de *heating setpoint* no *OpenStudio* é feita de forma semelhante ao que foi demonstrado para o caso do *cooling setpoint*.

3.3.2 Cargas

As cargas no interior do edifício podem ser provenientes de diversos sistemas. É importante definir quais os valores que essas cargas assumem para que os cálculos dos consumos energéticos desses sistemas sejam realizados. Todos os equipamentos elétricos dissipam energia na forma de calor quando estão em funcionamento pelo que nesta secção também é introduzida informação relativa a essa particularidade. Os ocupantes presentes no interior do edifício também podem influenciar a variação dos consumos do edifício (consumos do sistema AVAC) pelo que também são considerados como cargas.

3.3.2.1 Ocupação

Nesta secção é introduzida informação relativa ao número de ocupantes assim como informação relativa à influência que estes têm na temperatura interior do edifício. Foi assim definido:

Número de ocupantes: 200

Fração radiante: 0.3

Fração sensível: Cálculo automático

Taxa de geração de Dióxido de Carbono: 0.000038 L/s.W

Estes valores assumidos foram baseados no *EnergyPlus Input Output Reference* [26] e no capítulo 18 do *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [27]

3.3.2.2 Iluminação

Os dados relativos ao consumo da iluminação assim como relativos ao calor que o sistema de iluminação transfere para o interior do edifício são definidos nesta seção. O manual *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [27] define que a potência, por m^2 de superfície, do sistema de iluminação de uma área de vendas de pronto a vestir é de 9.4W. Contudo este valor é muito vago pelo que não tem uma base sólida que o justifique pois os tipos de tecnologias dos sistemas de iluminação atualmente existentes são diversos e os consumos podem variar conforme a tecnologia utilizada. Com recurso ao Software *DIALux* foi determinado o valor de potência que mais se adequa a este projeto com base na legislação em vigor [28]. Para uma iluminância média de 324lx foi obtido um valor de 3.89 W/m² com recurso à luminária Climar, SA 33.91.000.08.06 ATE LED 69W. Os dados detalhados deste dimensionamento podem ser vistos no Anexo B.

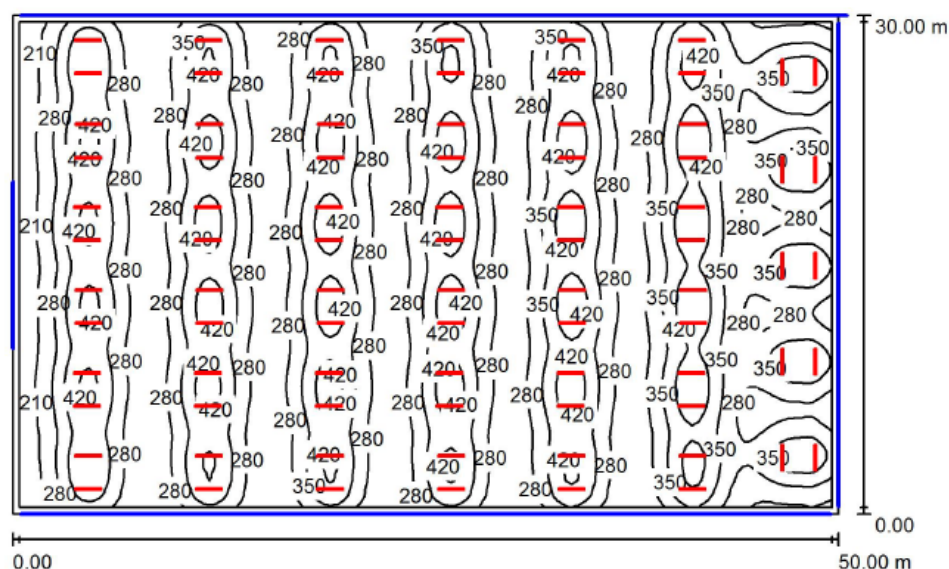


Figura 3.11: Curvas de iluminância obtidas através do software *DIALux*

As luminárias utilizadas são suspensas e, com base no Input Output References [26] do Energy Plus, foram assumidos os seguintes dados:

Fração Radiante: 0.42

Fração Visível: 0.18

3.3.2.3 Equipamento Elétrico

O equipamento elétrico presente no interior de um edifício pode contribuir significativamente para as alterações de temperatura no seu interior. Grande parte do equipamento elétrico utilizado neste projeto é equipamento informático pelo que segundo o manual *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [27] foi considerada uma fração radiante de valor 0,4. A potência definida para o

equipamento elétrico tem o valor de 10000W, em que, multiplicando este valor pelo diagrama da secção 3.3.1.2 se obtém o diagrama de cargas para o equipamento elétrico.

3.3.3 Sistema AVAC

O sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) permite ventilar o edifício e manter a temperatura interior do edifício dentro dos limites de conforto térmico. Para a realização desta Dissertação foi adicionado um template do sistema AVAC fornecido pelo *OpenStudio - Packaged Rooftop Heat Pump*.

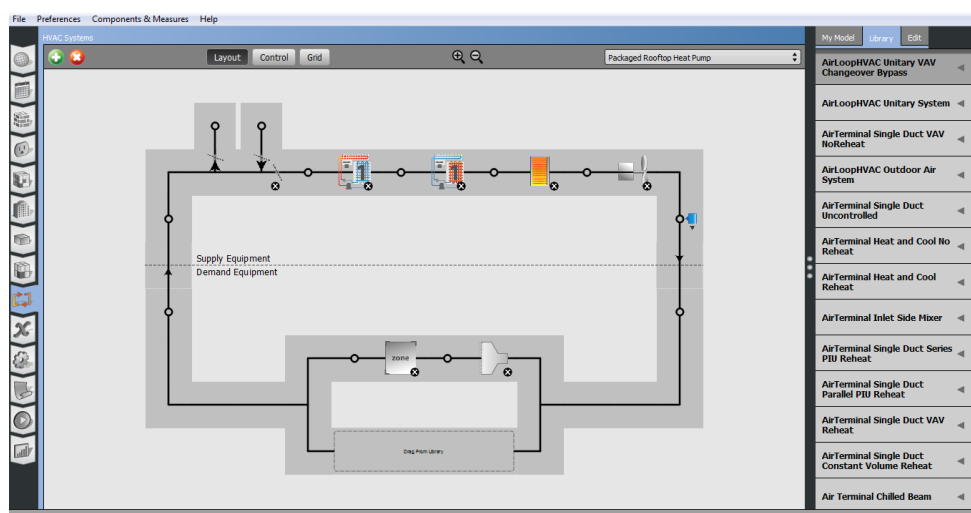


Figura 3.12: Esquema do sistema AVAC

Este sistema AVAC gera um fluxo de ar constante ao longo do tempo. Ao *template* do sistema AVAC adicionado é necessário adicionar a zona térmica onde o sistema AVAC vai funcionar (Zona térmica 1). O simulador dimensiona o sistema AVAC, por pré definição, de forma automática de modo a que consiga dar resposta a todo o tipo de solicitações. O auto dimensionamento (*Autosized*) do sistema AVAC é realizado consoante os valores contidos no ficheiro meteorológico, ficheiro *Design Day File* e de todo o tipo de cargas. Como ao longo deste trabalho pretende-se variar essa informação é necessário fixar os valores de dimensionamento do sistema AVAC de modo a que este não sofra alterações ao longo do projeto. Foi assim realizada uma primeira simulação em modo automático e de seguida foi registado o dimensionamento do sistema AVAC de modo a poder fixar os valores obtidos para todas as simulações. É possível conhecer o dimensionamento do sistema AVAC que o simulador realizou no modo *autosized* através do interface do *OpenStudio*. Essa informação pode ser consultada na tab *Results Summary* seleccionando de seguida *Reports: EnergyPlus Results*. Em *Component Sizing Summary* é possível verificar os valores de dimensionamento. Foram registados os seguintes valores de dimensionamento do sistema AVAC:

Refrigeração

Rated Total Cooling Capacity: 52738.1 W

Rated Sensible Heat Ratio: 0.67608

Rated Air Flow Rate: 2.124 m3/s

Aquecimento

Rated Total Heating Capacity: 52738.1 W

Rated Air Flow Rate: 2.124 m3/s

Design Size Resistive Defrost Heater Capacity: 52738.11 W

User-Specified Resistive Defrost Heater Capacity: 2000 W

Coil Heating Electric: 97076 W

Ventilação

Fan Constant Volume: 2.124 m3/s

3.3.4 Variáveis de saída

No separador *Output Variables* é possível encontrar algumas das possíveis variáveis de saída que o simulador permite obter. As variáveis de saída aqui selecionadas são armazenadas num ficheiro com extensão *.eso. A abertura deste ficheiro não é possível com recurso a um editor de folha de cálculo o que faz com que o processo de obtenção dos resultados se torne moroso pois é necessário, para cada simulação, executar um ficheiro disponibilizado pelo EnergyPlus (ReadVarsEso.exe) na mesma diretoria em que o ficheiro *.eso se encontra. Através deste processo é possível obter um ficheiro com extensão *.csv o que possibilita a sua abertura através de um editor de folha de cálculo. A partir deste ponto, e com recurso ao *Microsoft Excel* já é possível converter o ficheiro *.csv num ficheiro *.xlsx de modo a que os dados possam ser utilizados de uma forma mais prática. As variáveis de saída aqui selecionadas são:

People Occupant Count

Zone Air Temperature

Zone Electric Equipment Power

Zone Lights Electric Power

Zone Outdoor Air Temperature

Zone Thermostat Cooling Setpoint Temperature

Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature

3.3.4.1 Measures

As variáveis de saída que o *OpenStudio* permite exportar diretamente através do separador *Variáveis de Saída* são de número bastante limitado. Para o estudo em questão torna-se necessário recorrer a outros métodos de forma a ser possível obter resultados de variáveis de saída úteis para este projeto. É possível obter um maior número de variáveis de saída através de *Measures*

. As *Measures* estão presentes no menu do *OpenStudio* e são aplicações desenvolvidas pela “comunidade *OpenStudio*” para que haja uma maior variedade de soluções e opções na *interface* do *OpenStudio*. Neste caso foi aplicada uma *Measure* que permite a obtenção de uma maior variedade de variáveis de saída que de outra forma não era possível através deste simulador. Foi necessário recorrer à Livraria *online* do *OpenStudio* e adicionar a *measure Add Output Variable* ao modelo. Para adicionar uma variável de saída é necessário conhecer o nome exato da variável de forma a informar o simulador qual a variável pretendida. Estas variáveis são conhecidas através do ficheiro com extensão *.rdd que é um ficheiro que contém o nome de todas as variáveis de saída possíveis de serem extraídas do projeto em questão. Para se obter o ficheiro *.rdd é necessário realizar uma primeira simulação do projeto, podendo este ficheiro ser encontrado numa das pastas dos resultados da simulação. Após análise de todas as possíveis variáveis de saída, com recurso ao manual Input Output References [26] do *EnergyPlus*, foram selecionadas as seguintes variáveis:

Facility Total Building Electric Demand Power [W]

Facility Total Electric Demand Power [W]

Facility Total HVAC Electric Demand Power [W]

Facility Total Purchased Electric Power [W]

Fan Electric Power [W]

Cooling Coil Electric Power [W]

Heating Coil Electric Power [W]

Heating Coil Defrost Electric Power [W]

Heating Coil Crankcase Heater Electric Power [W]

3.4 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é o motor de simulação que está na base de funcionamento do *OpenStudio*. Contudo o *OpenStudio* não tem no seu interface todas as funcionalidades que o *EnergyPlus* disponibiliza, em que não é possível adicionar tarifas energéticas variáveis. Como se pretende realizar um estudo de custo energético torna-se necessário, após a modelização do edifício com recurso ao *SketchUp* e *OpenStudio*, adicionar as tarifas com recurso ao *EnergyPlus*. Após a realização de uma simulação com o *OpenStudio* são produzidas diversas pastas e ficheiros. O ficheiro *in.idf* é o que contém toda a informação do modelo e desta forma é este o ficheiro que terá de ser editado pelo *EnergyPlus* de modo a que as tarifas sejam adicionadas. Neste projeto foi utilizada a versão 8.4.0 do *EnergyPlus*.

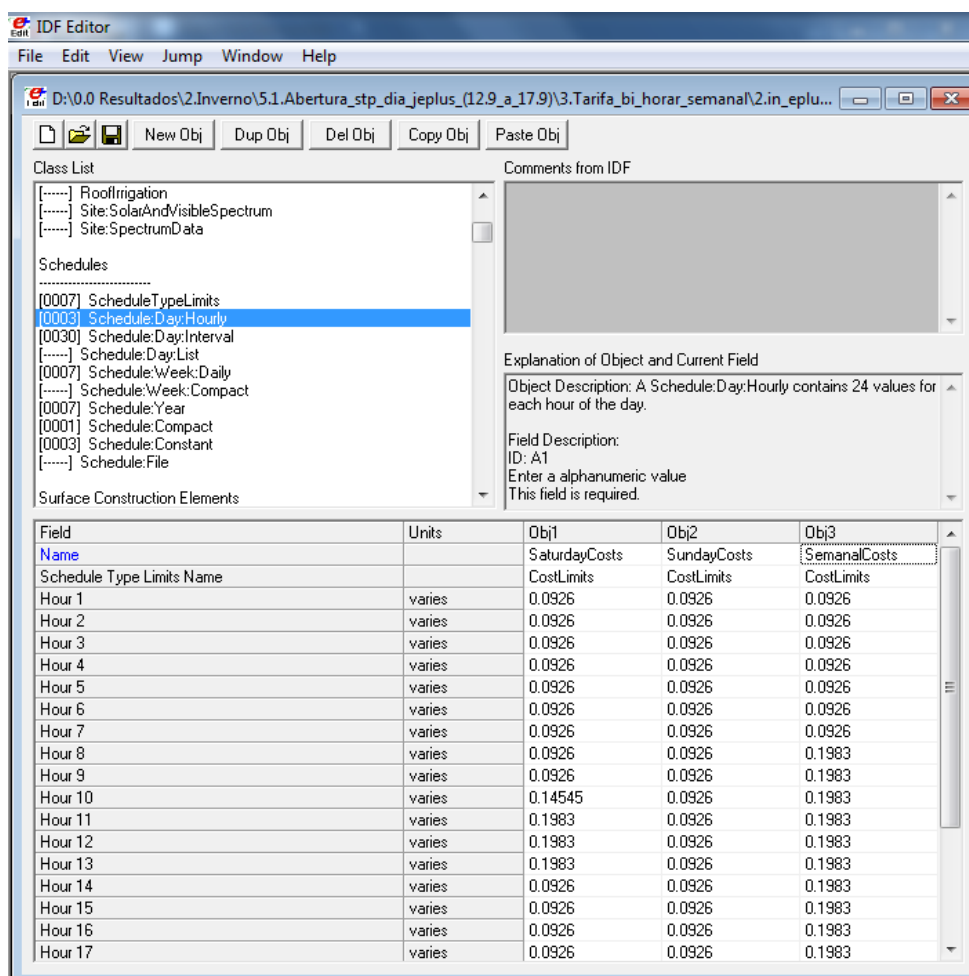


Figura 3.13: Introdução de tarifas através do *EnergyPlus*

No *EnergyPlus* existem múltiplos objetos que estão interligados entre si. Para a introdução das tarifas energéticas foram criados vários objetos com a seguinte ordem e parâmetros:

Objeto *Schedule Type Limits*

Nome:

Valor limite mínimo: -

Valor limite máximo: -

Tipo numérico: Contínuo

Tipo de variável: Adimensional

Objeto *Schedule:Day:Hourly*

É no objeto *Schedule:Day:Hourly* onde se atribui a tarifa, numa base horária, para as 24 horas de cada dia. Torna-se necessário criar diferentes objetos do tipo *Schedule:Day:Hourly* caso a tarifa a aplicar não seja a mesma para diferentes dias da semana, tal como acontece na *tarifa bi-horária opção semanal*, em que a tarifa a aplicar é a mesma durante os dias úteis mas difere aos sábados

e aos domingos. Para este caso em específico torna-se necessária a criação de 3 objetos deste tipo 3.13. Cada um destes objetos criados aponta para um objeto do tipo *ScheduleTypeLimits*.

Nome:

Nome do *Schedule Type Limits*: (Apontador)

Hour 1:

Hour 2:

Hour 3:

...

Hour 24:

Objeto *Schedule:Week:Daily*

O objeto *Schedule:Week:Daily* tem como função identificar qual o tarifário a aplicar em cada dia da semana. Este objeto aponta para um objeto do tipo *Schedule:Day:Hourly*.

Nome:

Sunday Schedule Day Name: (Apontador)

Monday Schedule Day Name: (Apontador)

Tuesday Schedule Day name: (Apontador)

Wednesday Schedule Day name: (Apontador)

Thursday Schedule Day name: (Apontador)

Friday Schedule Day name: (Apontador)

Saturday Schedule Day name: (Apontador)

Objeto *Schedule:Year*

O objeto *Schedule:Year* permite identificar o início e fim do período ao qual se pretende adicionar as tarifas. Um objeto deste tipo aponta para um objeto do tipo *Schedule Type Limits* e para um objeto do tipo *Schedule:Week:Daily*.

Nome do objeto:

Nome do *Schedule Type Limits*: (Apontador)

Nome do *Schedule:Week:Daily*: (Apontador)

Mês de início

Dia do início

Mês final

Dia final

O objeto **UtilityCost:Tariff** encontra-se presente na secção *Economics*. Este objeto permite definir qual o tipo de tarifa e qual a unidade.

Nome do objeto:

Nome da medição de saída: *Electricity:Purchased:Facility*

Fator de conversão: *Kwh*

Nome do objeto *Schedule:Year*: (Apontador)

Compra ou Venda: *BuyFromUtility*

É bastante importante salientar o facto da necessidade de definir o objecto *OutputControl: Table: Style* para *Comma&HTML*. Sem esta alteração não é possível obter os resultados de custos energéticos no simulador que será utilizado posteriormente – *jeplus*. Esta definição permite a criação de um ficheiro(eplustbl.csv) quando a simulação for realizada, que permite a extração do valor do custo energético total. Sem esta definição ativa não há possibilidade de extrair a informação.

Como se pode verificar a utilização do *EnergyPlus*, por não ter um interface gráfico, não é intuitivo nem prático, contudo nas próximas versões do *OpenStudio* está definido que será lançada a funcionalidade de adicionar tarifas através do seu interface.

3.5 jEPlus

A necessidade de se pretender realizar várias simulações, com ligeiras alterações de valores de um ou vários parâmetros entre elas, faz com que a utilização do *OpenStudio* para a realização de simulações “em série” não seja prática pois através do *OpenStudio* apenas é possível realizar “manualmente” uma simulação de cada vez. O *jEPlus* permite que essas simulações “em série” sejam realizadas. Ao realizar determinadas simulações com a variação de 1 ou mais parâmetros é possível definir o valor mínimo, máximo e o passo desses parâmetros de forma a que o *jEPlus* realize todas essas simulações de uma forma mais eficaz.

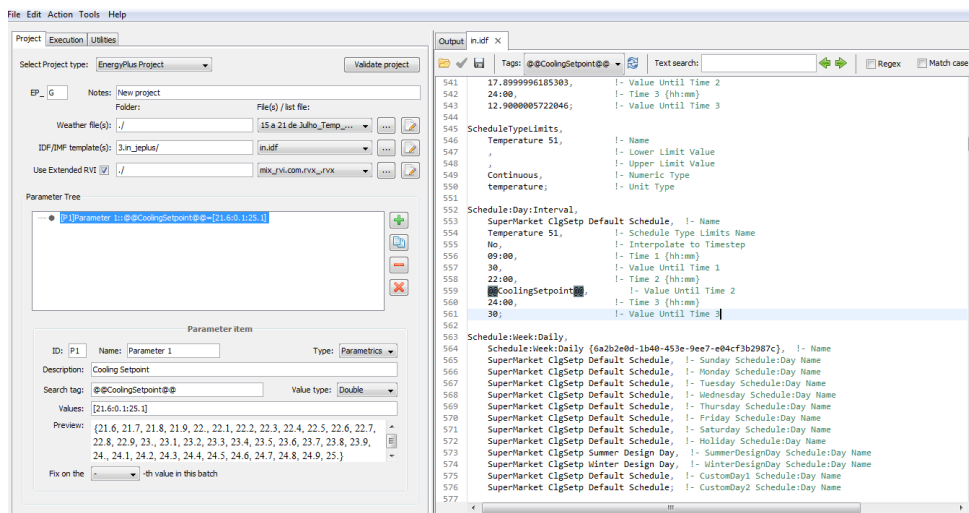


Figura 3.14: Ambiente de trabalho do *jEPlus*

Neste trabalho foi utilizada a versão 1.6.3 do *jEPlus*. Este simulador tem como motor o *EnergyPlus* e possui 3 entradas: ficheiro meteorológico, ficheiro *.idf e o ficheiros *.rvi e/ou *.rvx. O ficheiro meteorológico e o ficheiro *.idf já não são desconhecidos nesta fase do trabalho

pois já foram utilizados anteriormente. A novidade reside no ficheiro *.rvi ou *.rvx. Estes ficheiros são utilizados para definir as saídas que se pretendem obter como resultados da simulação. Neste caso, como é necessário obter informação sobre custos totais, a criação e utilização destes dois ficheiros em conjunto é essencial. O ficheiro *.rvi possui informação relativa às variáveis que se pretende obter nas saídas da simulação, mas não permite a obtenção dos custos energéticos resultantes. O ficheiro *.rvi é um ficheiro de texto que pode ser editado com recurso a um editor de texto em que, neste trabalho, tem a seguinte composição:

```
eplusout.eso
eplusout.csv
Zone Outdoor Air Temperature
People Occupant Count
Zone Lights Electric Power
Zone Electric Equipment Electric Power
Zone Air Temperature
Zone Thermostat Heating Setpoint Temperature
Zone Thermostat Cooling Setpoint Temperature
Facility Total Purchased Electric Power
Facility Total Building Electric Demand Power
Facility Total HVAC Electric Demand Power
Facility Total Electric Demand Power
Fan Electric Power
Cooling Coil Electric Power
Heating Coil Electric Power
Heating Coil Defrost Electric Power
Heating Coil Crankcase Heater Electric Power
0
```

O ficheiro *.rvi é iniciado sempre com as duas primeiras linhas como demonstrado. Essas linhas representam o nome do ficheiro *.eso que o executável *ReadVarsEso.exe* vai abrir de forma automática, colocando essa informação no ficheiro *eplusout.csv*. De seguida torna-se necessário identificar quais as variáveis que são pretendidas na saída da simulação. Para tal é necessário visualizar a sua correta designação com recurso aos ficheiros *.mdd e *.rdd, produzidos e apenas visíveis após a realização de uma primeira simulação com o OpenStudio na pasta “5-EnergyPlus-0”. O ficheiro *.rvi termina sempre com um “0”. Apenas com o ficheiro *.rvi não é possível obter os resultados de custos energéticos. A única forma desses resultados serem obtidos é através da criação do ficheiro *eplusdbl.csv*. A sua criação já foi explicada na secção 3.4 pelo que nesta altura do trabalho é necessário obter a “célula” dessa folha de cálculo que contém o valor com o custo total energético, de forma a sair em conjunto com os resultados finais de cada simulação realizada no *jEplus*. A forma de o fazer é com recurso à criação de um ficheiro *.rvx. Este ficheiro foi

feito de forma a ter a funcionalidade do ficheiro *.rvi assim como consegue colocar nos resultados de saída os custos totais energéticos de cada simulação. A composição do ficheiro *.rvx está demonstrado na figura seguinte.

```
{
  "rvis" : [
    {
      "fileName" : "saidas_totais.rvi",
      "tableName" : "0. saidas_rvi_file",
      "frequency" : "Annual",
      "usedInCalc" : true
    }
  ],
  "csvs" : [
    {
      "sourceCsv" : "eplustbl.csv",
      "fromReport" : "Annual Building Utility Performance Summary",
      "fromTable" : "EAp2-7. Energy Cost Summary",
      "fromColumn" : "Total Energy Cost [$]",
      "fromRow" : "Electricity",
      "tableName" : "1. Custo Total",
      "columnHeaders" : "Custo Total Electrico [$]",
      "usedInCalc" : true
    }
  ]
}
```

Figura 3.15: Ficheiro *.rvx

Antes da simulação ser efetuada é necessário definir se as variáveis de saída da simulação apresentam resultados relativamente a uma base horária ou relativamente ao período de simulação, que é de 1 semana para este trabalho. O simulador não devolve os 2 tipos de dados para uma mesma simulação. Os dados a extrair, resultantes das simulações, são bastante importantes nas duas formas pois é fundamental tomar conhecimento sobre quais os resultados globais da simulação (período de simulação) assim como, para uma análise gráfica mais cuidada, é necessário obter os dados de saída numa base horária. Desta forma em muitas das simulações terá de se proceder a uma repetição de simulações que apenas diferem na declaração do *timestep* de cada variável de saída. Esta alteração é realizada através da edição do ficheiro in.idf.

Na figura seguinte 3.16 é possível ver um exemplo que demonstra como realizar várias simulações de forma sucessiva em que, entre simulações, se vai alterando o *cooling setpoint* de 21.6°C a 25°C com o passo de 0.1°C. Após a inserção do ficheiro meteorológico, do ficheiro *.idf e do ficheiro *.rvx é necessário definir quais os parâmetro cujos valores vão sofrendo alterações entre simulações. Neste exemplo em concreto foi criada uma *tag* de nome @@CoolingSetpoint@@. Qualquer *tag* que seja criada tem de estar entre @@ de forma a que o simulador a reconheça como tal. De seguida é necessário inserir os valores mínimo (21.6), passo (0.1) e máximo (25.1) que se pretende que o simulador assuma como valores de *cooling setpoint*.

The screenshot shows the 'Parameter item' dialog box with the following details:

- ID:** P1
- Name:** Parameter 1
- Type:** Parameters
- Description:** Cooling Setpoint
- Search tag:** @@CoolingSetpoint@@
- Value type:** Double
- Values:** [21.6:0.1:25.1]
- Preview:** {21.6, 21.7, 21.8, 21.9, 22., 22.1, 22.2, 22.3, 22.4, 22.5, 22.6, 22.7, 22.8, 22.9, 23., 23.1, 23.2, 23.3, 23.4, 23.5, 23.6, 23.7, 23.8, 23.9, 24., 24.1, 24.2, 24.3, 24.4, 24.5, 24.6, 24.7, 24.8, 24.9, 25.}
- Fix on the:** -th value in this batch

Figura 3.16: Criação de um parâmetro no jEPlus

No ambiente do *jEPlus* é possível editar o ficheiro *.idf e adicionar a *tag* criada no sitio devido. Neste exemplo o *cooling setpoint* vai assumir o valor da *tag* entre as 9h e as 22h sendo criadas um total de 35 simulações.

```

552 Schedule:Day:Interval,
553   SuperMarket ClgSetp Default Schedule,  !- Name
554   Temperature 51,                        !- Schedule Type Limits Name
555   No,                                    !- Interpolate to Timestep
556   09:00,                                !- Time 1 {hh:mm}
557   30,                                    !- Value Until Time 1
558   22:00,                                !- Time 2 {hh:mm}
559   @@CoolingSetpoint@@,                  !- Value Until Time 2
560   24:00,                                !- Time 3 {hh:mm}
561   30;                                    !- Value Until Time 3

```

Figura 3.17: edição do ficheiro *.idf através do *jeplus*

A mesma lógica de processo foi realizada para alterar valores de *heating setpoint*, carga elétrica e número de ocupantes. É possível a criação de mais de uma *tag* por projecto, de forma a poder ser realizada uma vasta combinação de hipóteses.

Na realização de um grande número de simulações(caso o número de simulações fosse superior a 10000) verificou-se algumas dificuldades em alcançar os resultados de simulação pretendidos, em que o próprio *jEPlus* alertava para esse mesmo facto antes das simulações serem iniciadas, o que veio dificultar a obtenção da totalidade das simulações pretendidas para a execução do trabalho. Após várias horas a correr simulações o *jEPlus* parava não devolvendo qualquer resultado de simulação. Desta forma procedeu-se à realização de um menor número de simulações.

3.6 Conforto térmico em edifícios

A norma *ASHRAE 55-2013* indica quais os limites de conforto térmico aceitáveis no interior de um edifício. São vários os fatores que determinam quais os valores de temperatura que definem o conforto térmico e é possível realizar a sua determinação através de uma ferramenta – *CBE Thermal Comfort Tool*. [29]

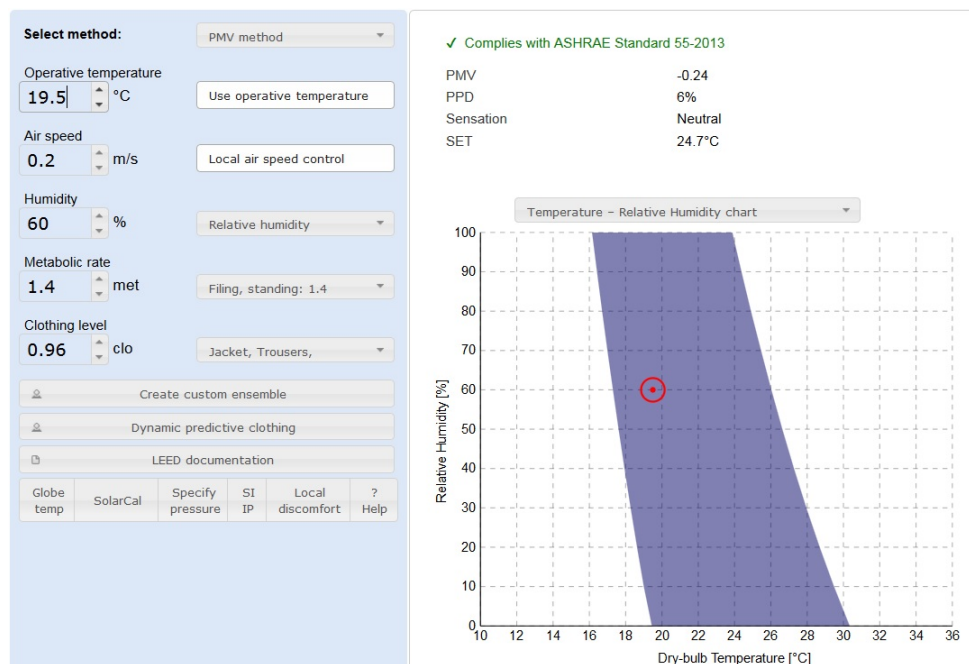


Figura 3.18: Ambiente de trabalho da ferramenta CBE Thermal Comfort Tool

Através de 5 parâmetros é possível visualizar graficamente se uma determinada temperatura se encontra dentro dos limites de conforto térmico. Esses parâmetros são:

Temperatura (°C)

Velocidade do Ar (m/s)

Humidade Relativa (%)

Taxa Metabólica

Vestuário

É aconselhável que a humidade relativa, segundo a norma *ASHRAE standard 55*, assuma valores entre os 25% e os 65% de forma a serem mantidos os níveis de conforto térmico. Para estes valores extremos de humidade relativa foram determinadas as temperaturas correspondentes de forma a serem obtidas as temperaturas extremas.

verão:

Velocidade do Ar: 0.2 m/s

Taxa Metabólica: 1.5 (valor escolhido entre o 1.4 (*Filing, standing*) e o 1.7 (*Walking about*))

Vestuário: 0.57 (Calças, T-shirt, roupa interior, meias e sapatos)

Para estes dados introduzidos é possível verificar que para o valor de humidade relativa definido a 25% a temperatura pode variar entre 21.5°C e 26.2°C, e para valores de humidade relativa definidos a 65% a temperatura pode variar entre 20.7°C e 25°C. Para o Verão fica estipulado que a temperatura no interior do edifício que define o conforto térmico situa-se entre os 21.5°C e os 25°C.

inverno:

Velocidade do Ar: 0.2 m/s

Taxa Metabólica: 1.5 (valor escolhido entre o 1.4 (*Filing, standing*) e o 1.7 (*Walking about*))

Vestuário: 0.96 (Casaco, camisola de manga comprida e calças)

Para estes dados é possível verificar que para o valor de humidade relativa definido a 25% a temperatura pode variar entre 17.9°C e 23.9°C, e para valores de humidade relativa definidos a 65% a temperatura pode variar entre 17.1°C e 22.6°C. Para o Inverno fica definido que a temperatura no interior do edifício que representa o conforto térmico pode variar entre os 17.9°C e os 22.6°C.

Capítulo 4

Simulação, Aplicação e Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas para uma semana de verão e uma semana de inverno, segundo a metodologia descrita no capítulo 3, assim como é feita uma análise aos resultados obtidos. Para cada semana é analisada a influência de vários fatores no consumo de energia elétrica do edifício. Foram realizadas simulações de forma a perceber qual o impacto que o sistema AVAC, equipamento elétrico, iluminação assim como o número de ocupantes têm na fatura energética. É também aqui demonstrado uma forma de verificar se é mais económico optar por uma estratégia de refrigerar/aquecer o edifício no período noturno com base em diferentes tarifas horárias.

Os resultados obtidos correspondem a um cenário formado por vários conjuntos de dados. Esses dados nem sempre se traduzem em parâmetros correspondentes à realidade construtiva nacional. No entanto considera-se que seria mais importante a aplicação da metodologia de uma forma completa, em detrimento de reproduzir um caso de estudo absolutamente real.

4.1 Comportamento térmico do edifício sem sistema AVAC

Antes da realização das simulações para obtenção de valores de consumos e custos energéticos é interessante tomar conhecimento sobre o comportamento térmico do edifício caso o sistema AVAC esteja desligado durante toda a semana de verão e de inverno. Com este estudo pode-se compreender melhor quais poderão vir a ser as necessidades energéticas do sistema AVAC para os dois períodos alvo de estudo. Nestas simulações foi tomado em consideração outros fatores que podem influenciar a temperatura interior - equipamento elétrico, a iluminação e a taxa de ocupação - mediante os valores designados como previstos no capítulo anterior.

4.1.1 Semana de verão

Para a semana de verão, tal como foi determinado anteriormente, a temperatura interior pode assumir qualquer valor entre 21.5°C e 25°C.

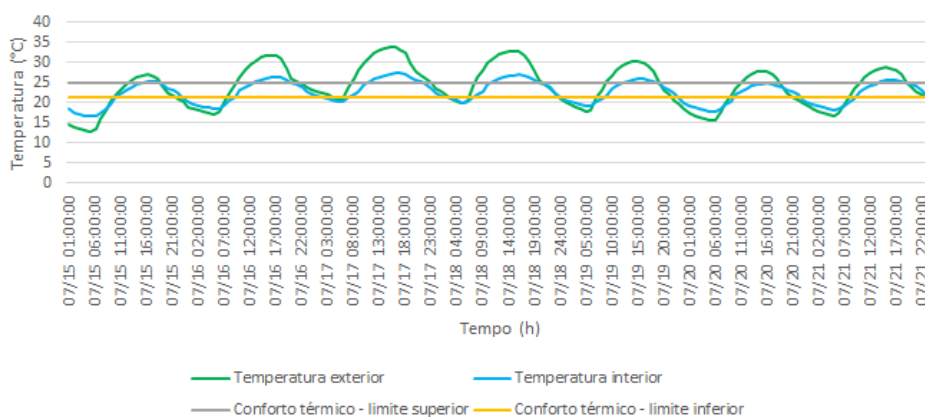


Figura 4.1: Temperatura no exterior e interior do edifício para semana de verão. Sem sistema AVAC.

Após a realização da simulação é possível verificar que a temperatura exterior tem uma grande influência na temperatura interior do edifício. A temperatura interior oscila bastante, entre os 16.6°C e os 27.3°C, em que se é possível verificar que chega a ultrapassar o limite superior de temperatura de conforto térmico durante o dia e o limite inferior de temperatura de conforto térmico durante a noite.

Tabela 4.1: Valores extremos e média de temperatura para a semana de verão

	Temperatura exterior (°C)	Temperatura interior (°C)
Máximo	33.8	27.3
Mínimo	12.7	16.6
Média	24.1	22.6

Para o caso de verão será necessário refrigerar o edifício durante o dia pois é necessário manter o conforto térmico enquanto o edifício se encontra aberto ao público. Relativamente ao período noturno, enquanto o edifício está desocupado, não é possível para já concluir se será necessário aquecer o edifício durante o período noturno.

4.1.2 Semana de inverno

Para a semana de inverno foi determinado que os níveis de conforto térmico se situam entre os 17.9°C e 22.6°C.

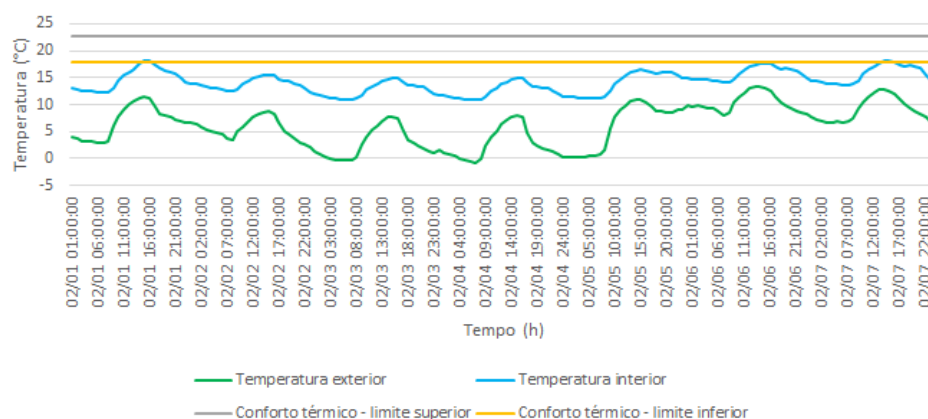


Figura 4.2: Temperatura no exterior e interior do edifício para semana de inverno. Sem sistema AVAC.

Após a realização da simulação e obtenção de dados, é possível prever o comportamento térmico do edifício para a semana de inverno. Quase em todo o período a temperatura interior do edifício encontra-se abaixo do limite inferior de conforto térmico.

Tabela 4.2: Valores extremos e média de temperatura para a semana de inverno

	Temperatura exterior (°C)	Temperatura interior (°C)
Máximo	13.4	18.2
Mínimo	-0.8	10.8
Média	6.2	14.2

Apesar da temperatura que se regista no interior do edifício ser mais elevada do que no exterior em todo o período, prevê-se que o sistema de aquecimento terá um papel essencial para alcançar e manter os níveis de temperatura no interior do edifício dentro dos limites de conforto térmico.

4.2 Setpoints do sistema AVAC

Nesta secção são demonstrados os resultados obtidos através da modificação dos *setpoints* do sistema AVAC para uma semana de verão e para uma semana de inverno. O modelo do edifício foi alimentado com informação de previsão meteorológica para as semanas em questão. Nesta secção os valores de equipamento elétrico, iluminação e número de ocupantes são os descritos no capítulo anterior como *previstos*.

4.2.1 Semana de verão

Os valores de temperatura que se situam entre os 21.5°C e os 25°C estão dentro da zona de conforto térmico. Caso a temperatura interior do edifício não se situe dentro destes limites o sistema AVAC entra em funcionamento aquecendo ou refrigerando o edifício.

4.2.1.1 Setpoints constantes ao longo da semana

Nesta primeira análise foi estabelecido que o sistema AVAC está ativo durante as 24 horas de cada dia e para todos os dias da semana. Com este estudo pretende-se obter os consumos dos diferentes sistemas do edifício assim como obter dados que permitam concluir se a inércia térmica do edifício em estudo permite que esta seja uma opção válida. A questão que se coloca nesta fase é a seguinte: Será que mantendo a temperatura interior do edifício dentro dos limites de conforto térmico durante todo o dia leva a que esta seja uma opção vantajosa?

De forma a entender qual a influência da escolha dos *setpoints* nos consumos energéticos do edifício foram realizadas várias simulações. Nesta primeira análise foram realizadas 35 simulações em que, para cada simulação, tanto o *cooling setpoint* assim como o *heating setpoint* são constantes ao longo de todo o dia e de toda a semana. Sendo estas simulações realizadas para uma semana de verão, em que as temperaturas exteriores são mais elevadas, o valor do *heating setpoint* fica sempre fixo no mínimo valor possível (21.5°C) enquanto o *cooling setpoint* entre cada simulação foi sofrendo uma variação de 0.1°C, ou seja, o *cooling setpoint* varia entre 21.6°C e os 25°C.

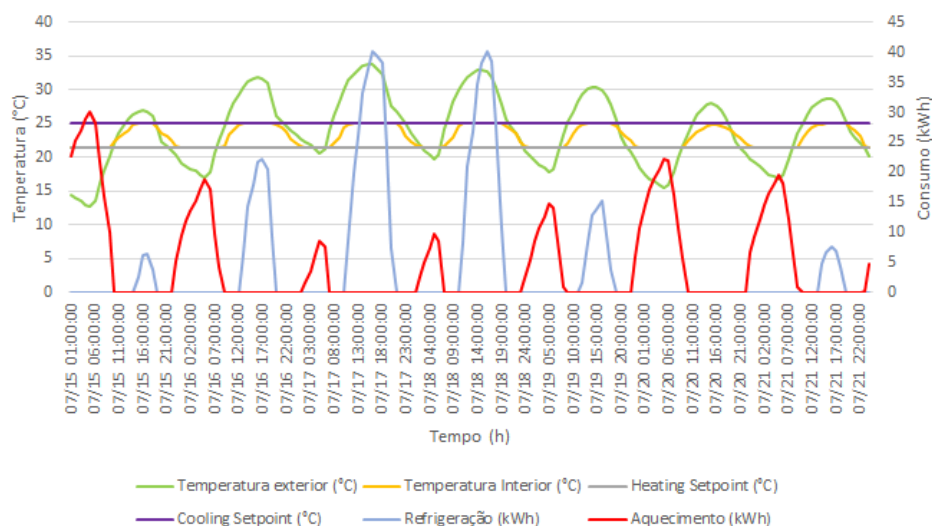


Figura 4.3: Resultado da simulação para o valor de *cooling setpoint* igual a 25°C - 15 a 21 de julho.

Na figura 4.3 é possível verificar as oscilações da temperatura exterior e interior do edifício para a semana de verão. Facilmente se identifica o período diurno e noturno devido aos picos máximos e mínimos de temperatura exterior, em que, durante dia a temperatura exterior atinge valores mais elevados. Analisando os resultados obtidos é possível verificar que o sistema AVAC tem capacidade para manter a temperatura interior do edifício dentro dos limites de conforto térmico. A temperatura interior vai sofrendo oscilações ao longo do tempo, oscilações essas que têm uma tendência a acompanhar a temperatura verificada no exterior do edifício. Durante o período noturno a temperatura interior tem uma tendência a ser inferior a 21.5°C em determinadas horas

pelo que para manter a temperatura dentro dos limites de conforto térmico o aquecimento entra em funcionamento. Nas horas em que a temperatura exterior é mais elevada, e o edifício se encontra no seu horário de funcionamento, o sistema AVAC refrigera o edifício.

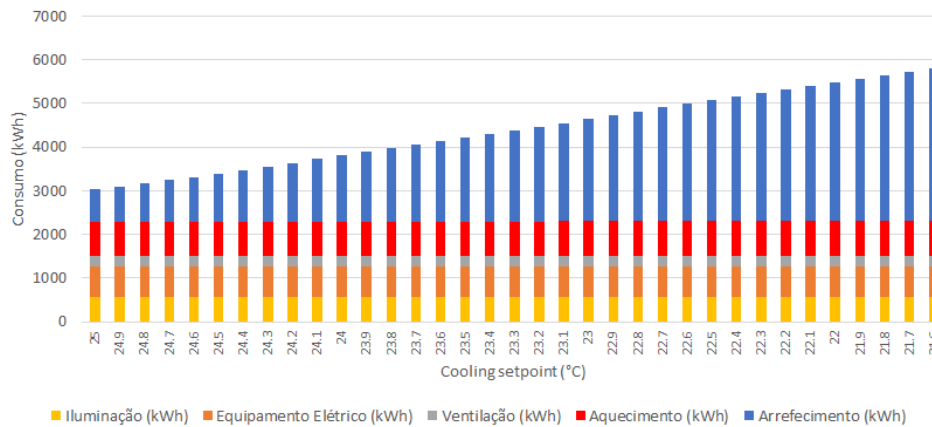


Figura 4.4: Variação dos consumos para diferentes valores de cooling setpoint - semana de verão

Após a realização das simulações é possível tomar conhecimento que a simulação que apresenta um maior consumo energético é a simulação realizada com o *cooling setpoint* igual a 21.6°C e, na situação oposta, a simulação que apresenta o menor consumo energético tem o *cooling setpoint* igual a 25.0°C. Verifica-se assim uma tendência para um menor consumo por parte do sistema AVAC à medida que o *cooling setpoint* vai sendo definido para uma temperatura superior. Estas simulações foram realizadas para uma altura do ano em que as temperaturas exteriores são mais elevadas e por isso o sistema AVAC se for definido para funcionar com um *cooling setpoint* cada vez mais baixo terá um maior consumo na medida em que tem de fazer um maior esforço para refrigerar o edifício. A diferença dos consumos energéticos, entre simulações e para o espaço temporal de uma semana, verifica-se única e exclusivamente para os consumos do sistema AVAC. Na prática nem sempre é assim pois o gestor do edifício ou funcionários podem realizar alterações nas cargas que por sua vez provoquem alterações nos consumos (por exemplo, ativar ou desativar caixas registadoras, equipamento de escritório, carregamento de telemóveis...). Contudo essas alterações de cargas são difíceis ou praticamente impossíveis de prever com rigor o que leva a que neste trabalho o foco das previsões de consumos energéticos seja o consumo por parte do sistema AVAC, sendo este o consumo energético que mais poderá oscilar ao longo do tempo muito devido aos fatores meteorológicos verificado no exterior do edifício.

Tabela 4.3: Consumos energéticos desagregados e custos para três valores exemplo de cooling setpoint

Cooling Setpoint (°C)	Iluminação (kWh)	Equipamento Elétrico (kWh)	Sistema AVAC (KWh)	Aquecimento (kWh)	Refrigeração (kWh)	Ventilação (kWh)	Tarifa Simples (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Diária (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Semanal (EUR)
25.0	553.45	700.70	1773.28	772.84	745.56	254.88	486.85	499.66	474.61
24.9	553.45	700.70	1838.29	773.26	810.15	254.88	497.30	512.51	486.31
21.6	553.45	700.70	4535.20	811.00	3469.32	254.88	931.00	1037.00	962.96

A tabela 4.3 e custos totais para diferentes tarifárias para exemplos de três valores de *cooling setpoint*.

Ao definir o *cooling setpoint* do sistema AVAC em 24.9°C é registado um aumento do consumo AVAC em aproximadamente 3.7% quando em comparação com a definição do *cooling setpoint* a 25°C. Para o caso mais extremo, ao escolher o *cooling setpoint* igual a 21.6°C, regista-se um aumento considerável no consumo de energia elétrica quando em comparação à escolha do *cooling setpoint* igual a 25°C, sendo registado um aumento de aproximadamente 156% no consumo energético por parte do sistema AVAC.

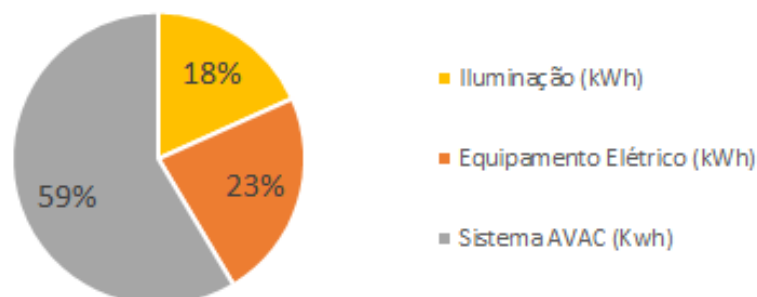


Figura 4.5: Relação dos consumos energéticos desagregados para o *cooling setpoint* igual a 25°C

O consumo AVAC pode ser desagregado em ventilação, aquecimento e refrigeração que são responsáveis, quando o *cooling setpoint* é definido a 25°C, por 14%, 44% e 42% respetivamente. Com a obtenção destes dados é possível constatar que grande parte do consumo AVAC é destinado para o aquecimento do edifício.

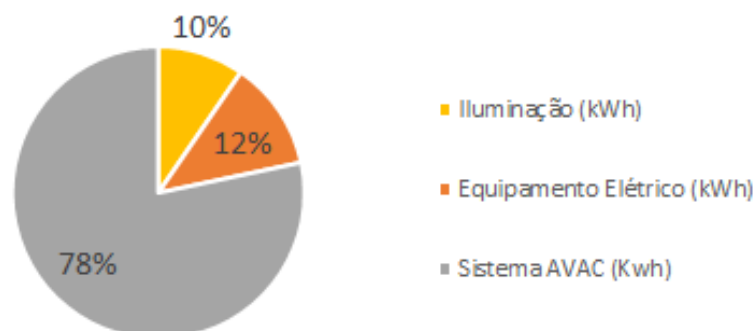


Figura 4.6: Consumos energéticos para o *cooling setpoint* igual a 21.6°C

O *cooling setpoint* que apresenta um maior consumo de energia elétrica tem o valor de 21.6°C. O sistema AVAC é responsável por 78% do consumo energético total do edifício. Para este valor

de *cooling setpoint* a ventilação é responsável por 6% da energia consumida por parte do sistema AVAC, sendo que o aquecimento e refrigeração são responsáveis por 18% e 76% respetivamente. Regista-se assim um enorme aumento do consumo energético por parte da refrigeração quando em comparação com a simulação realizada para o *cooling setpoint* a 25°C.

Nas simulações realizadas foram aplicadas 3 tarifas distintas: simples, bi horária-opção diária e bi horária-opção semanal. Os resultados obtidos estão representados no gráfico seguinte.

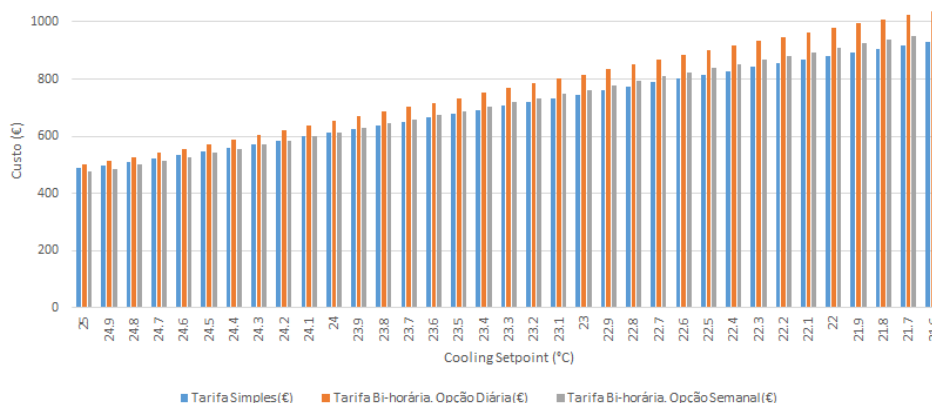


Figura 4.7: Custo total da energia elétrica para diferentes valores do *cooling setpoint* – semana de verão

Os resultados numéricos dos custos energéticos de 3 simulações podem ser consultados na tabela 4.3. Para o conjunto de simulações realizadas o *cooling setpoint* que apresenta o menor custo energético tem o valor de 25°C e para esta opção a *tarifa Bi horária-opção semanal* é a tarifa que apresenta menores custos com um valor total de 474.61 euros. Para esta mesma tarifa, mas para o *cooling setpoint* de valor 21.6°C ocorre um aumento de custo energético de aproximadamente 103%. Caso a opção recaísse na aplicação da *tarifa simples*, e para o *cooling setpoint* definido a 25°C, verificar-se-ia um aumento do custo energético de 2.6% quando em comparação com a *tarifa Bi-horária-opção semanal*.

Após a realização das simulações verifica-se que à medida que o valor de *cooling setpoint* diminui, o custo total da energia elétrica aumenta de forma bastante significativa. Esta diminuição do *cooling setpoint* obriga a que o sistema AVAC seja sujeito a um maior esforço na refrigeração do espaço durante o período diurno pois é durante este período que se verificam temperaturas exteriores mais elevadas assim como é quando o edifício se encontra ocupado, e com o equipamento elétrico e iluminação ligados.

4.2.1.2 Abertura de *setpoints* durante o período noturno

É fundamental que o sistema AVAC do edifício tenha capacidade de manter os níveis de conforto térmico enquanto estejam ocupantes no seu interior. Nas simulações seguintes o sistema AVAC só é considerado ativo durante as horas em que o edifício está aberto ao público.

Durante o período em que o edifício está encerrado foi realizada uma abertura de *setpoints* de 5°C. Esta abertura de *setpoints* consiste em alterar o *cooling setpoint* de 25°C para 30°C enquanto o *heating setpoint* sofre uma alteração de 21.5°C para 16.5°C apenas quando o edifício não se encontra ocupado. Para informar o simulador do estado inativo do sistema AVAC durante a noite foi necessário recorrer a esta estratégia de abertura de *setpoints* devido à impossibilidade que se verificou em desligar diretamente o sistema AVAC.

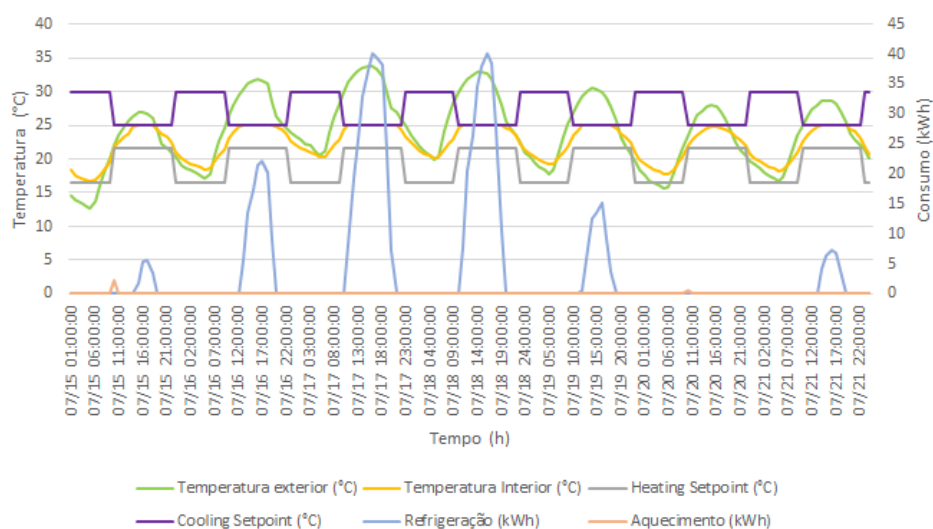


Figura 4.8: Resultado da simulação para o *cooling setpoint* igual a 25°C no período diurno

Para o período em que o edifício se encontra com ocupantes no seu interior tanto o *heating setpoint* assim como *cooling setpoint* permanecem constantes ao longo do tempo. Para este período foi realizada uma primeira simulação em que o *heating setpoint* foi fixo nos 21.5°C e o *cooling setpoint* assume o valor de 25°C. Para as simulações seguintes apenas foi alterado o *cooling setpoint* com uma diminuição sucessiva de 0.1°C entre cada simulação. Pretende-se desta forma conhecer qual o impacto que a alteração dos valores de *cooling setpoint* provoca no consumo do sistema AVAC.

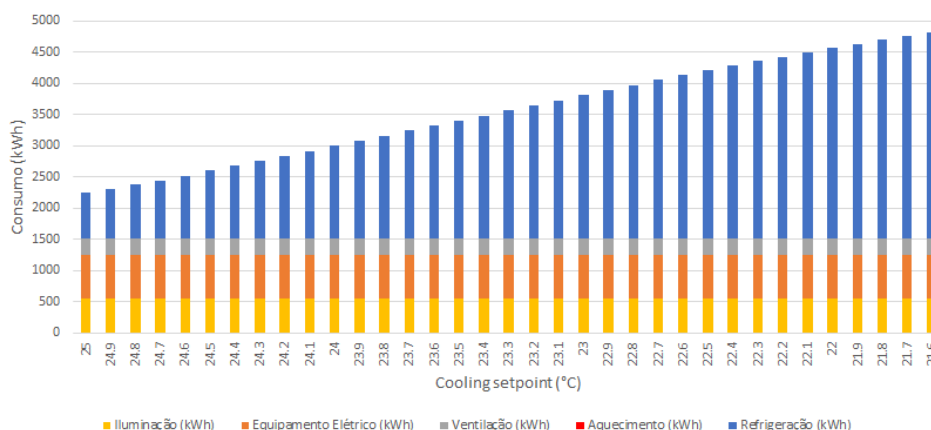


Figura 4.9: Consumos desagregados para diferentes valores de cooling setpoint

Através da análise da figura 4.9 é possível conhecer os diferentes consumos energéticos que o edifício apresenta através da alteração do valor de *cooling setpoint*. Quando o *cooling setpoint* assume o valor de 25°C é registado o consumo total de 2244.33 kWh em que, desse total, 990.18 kWh se destina para o consumo do sistema AVAC. Caso a opção seja a escolha do *cooling setpoint* a 21.6°C verifica-se um consumo total de 4819.4 kWh sendo que desse valor 3565.25 kWh é destinado ao consumo por parte do sistema AVAC. Ao optar pela escolha do *cooling setpoint* de valor 21.6°C, quando comparando com os resultados obtidos para o *cooling setpoint* igual a 25°C, há um aumento bastante significativo por parte do consumo AVAC de 260%. É de salientar que, dada a abertura dos *setpoints* durante a noite, o consumo registado por parte do sistema de aquecimento é residual.

Tabela 4.4: Consumos desagregados e custos totais para diferentes valores de *heating setpoint* – semana de Verão

Cooling Setpoint (°C)	Consumo Total (kWh)	Iluminação (kWh)	Equipamento Elétrico (kWh)	Sistema AVAC (KWh)	Aquecimento (kWh)	Refrigeração (kWh)	Ventilação (kWh)	Tarifa Simples (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Diária (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Semanal (EUR)
25	2244.33	553.45	700.70	990.18	2.83	732.48	254.88	360.92	424.30	395.22
24.9	2308.51	553.40	700.70	1054.36	2.83	796.66	254.88	371.24	437.03	406.81
21.6	4819.40	553.45	700.70	3565.25	1.30	3309.07	254.88	775.02	934.98	851.13

Na tabela 4.4 estão representados alguns dos resultados obtidos para diferentes valores de *cooling setpoint*. É possível verificar que uma simples diferença de 0.1°C, na escolha do *cooling setpoint* com o valor 24.9°C ao invés de 25°C, faz com que o consumo energético do sistema AVAC sofra um aumento de aproximadamente 6.5%.

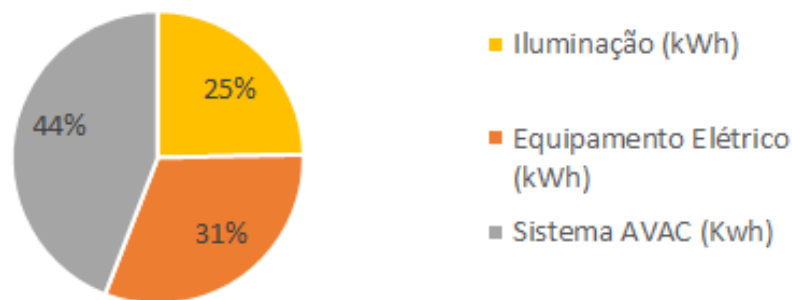


Figura 4.10: Consumos para o *cooling setpoint* igual a 25°C

Caso o *cooling setpoint* seja definido nos 25°C a ventilação tem um peso de 26% no consumo do sistema AVAC enquanto a refrigeração é responsável por 74%. O consumo do aquecimento é praticamente inexistente.

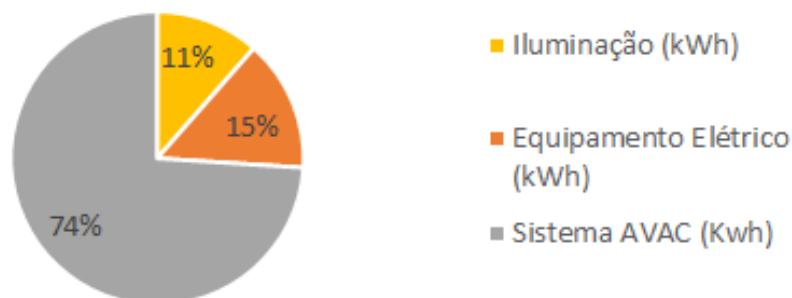


Figura 4.11: Consumos para o *cooling setpoint* igual a 21.6°C

Optando por um *cooling setpoint* fixo nos 21.6°C o consumo do sistema AVAC aumenta consideravelmente verificando-se que, no consumo específico do sistema AVAC, 7% é destinado à ventilação e 93% é destinado à refrigeração. Regista-se apenas um ligeiro consumo por parte do aquecimento que é aproximadamente 0% do valor total consumido pelo sistema AVAC.

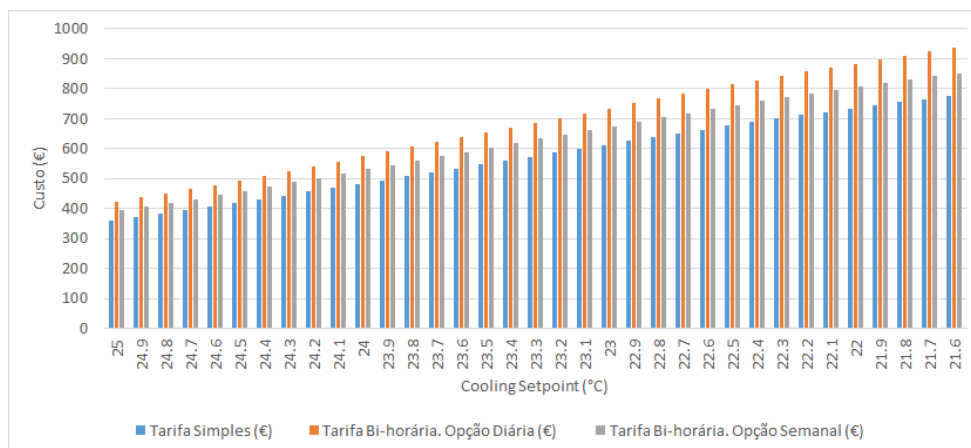


Figura 4.12: Custo da energia elétrica para diferentes valores do *cooling setpoint*

Ao ser efetuada a abertura de *setpoints* durante o período em que o edifício não está ocupado, e dado o comportamento térmico específico deste edifício, é possível verificar que grande parte do consumo pode ser diminuído pois evita-se que ocorram gastos energéticos no aquecimento do edifício durante a noite.

Utilizando esta estratégia, a combinação do *cooling setpoint* de valor 25°C com a *tarifa simples* é a que apresenta um custo energético mais baixo, com o valor de 360.92 euros. A *tarifa simples* acaba por ser a tarifa que leva a um custo energético mais baixo para qualquer *setpoint* que venha a ser escolhido. Caso o gestor do edifício pretenda definir o *cooling setpoint* a uma temperatura de 21.6°C, e aplicando a *tarifa simples*, ocorrerá um aumento de 115% de custo energético. Caso a tarifa energética a aplicar fosse a *Tarifa Bi horária-opção semanal*, e para um *cooling setpoint* de 25°C, verificar-se-ia um aumento de 9.5% em relação à *tarifa simples*.

4.2.1.3 Refrigeração do edifício durante o período noturno

Através da comparação entre a *tarifa simples* e a *tarifa bi-horária opção diária* é possível verificar que a *tarifa bi-horária opção diária* apresenta um preço mais baixo entre as 22h e as 8h. No entanto verifica-se também que entre as 8h e as 22h a *tarifa simples* apresenta um preço por kWh mais baixo. Esta diferença de preço entre tarifários leva a que seja interessante realizar várias simulações que permitam concluir se a refrigeração do edifício no período em que a energia é mais barata, no caso de se optar pela *tarifa bi-horária opção diária*, traz algum benefício na fatura energética. Foi realizado um estudo para esta tarifa em que entre as 6h e as 8h os valores do *cooling setpoint* assumem diferentes valores de forma a que seja possível arrefecer o edifício antes da abertura ao público. Pretende-se assim utilizar a inércia térmica do edifício de forma a verificar se esta estratégia revela menores custos energéticos.

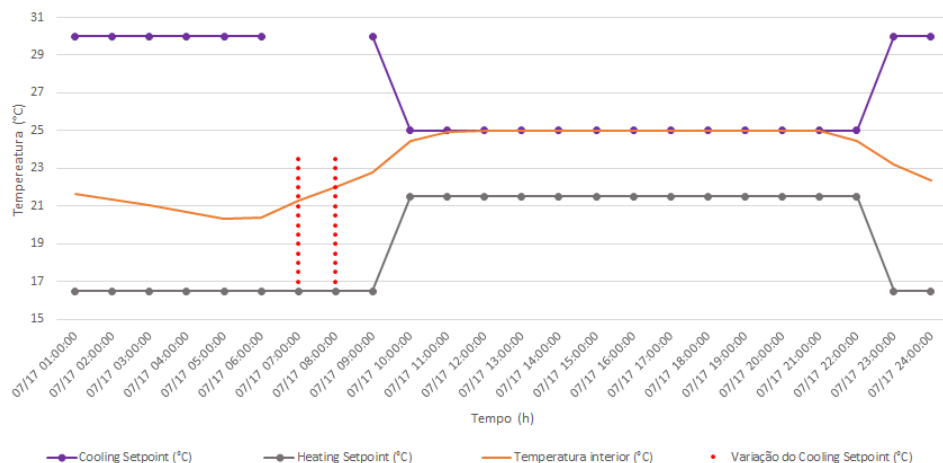


Figura 4.13: Exemplo dos valores de *cooling setpoint* assumidos para o dia 17 de julho

Na figura anterior, com pontuação a cor vermelha, é possível ver uma amostra representativa dos valores que o *cooling setpoint* pode assumir entre as 6h e as 8h da manhã. Foram realizadas várias simulações em que para estas horas o *cooling setpoint* assume valores entre os 16.5°C e os 23.5°C com o passo de 0.1°C entre simulações. Para cada uma destas horas o Cooling Setpoint pode assim assumir 71 valores, o que faz com que a combinação de todos estes pontos para estas horas produza um total de 5041 simulações. É de salientar que este conjunto de valores de *cooling Setpoints* foram escolhidos com base em simulações anteriores, em que foi possível tomar conhecimento dos valores de temperatura interior do edifício. O ideal seria realizar um “varrimento” de todas as hipóteses de combinações entre os valores de *cooling setpoint* para cada hora, mas devido ao elevado peso computacional que estas simulações acarretam é possível desta forma reduzir significativamente o número de simulações, o tempo de simulação e o recurso de memória computacional. Este estudo foi realizado para o dia que regista a máxima temperatura exterior prevista para a semana de verão (dia 17 de julho), com o valor de temperatura a atingir o máximo de 33.8°C.

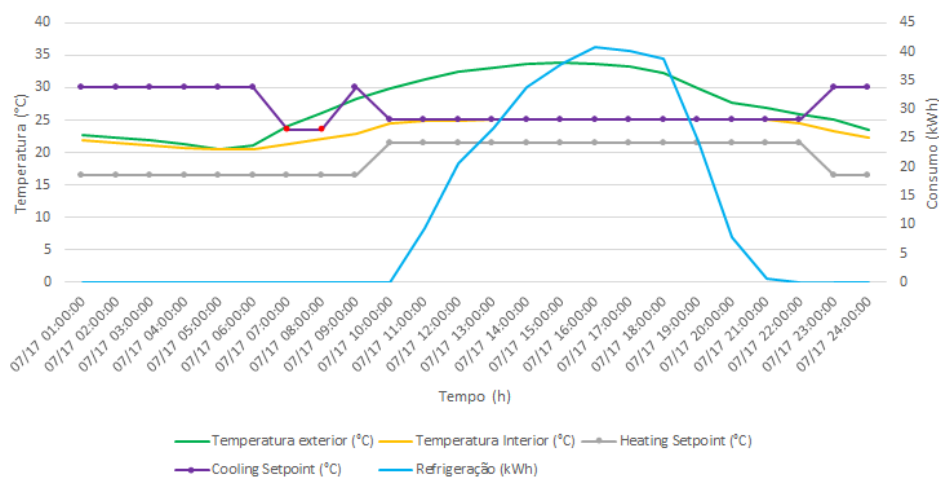


Figura 4.14: Simulação que revelou menor custo energético – 17 de julho

Na figura anterior é possível verificar os resultados da simulação para o caso que revelou ser o mais económico quando aplicada a *tarifa bi-horária opção de ciclo diário*. Tanto às 7 horas como às 8h o *cooling setpoint* assume o valor de 23,5°C. É possível verificar que a temperatura no interior do edifício durante estas horas é inferior aos 23,5°C definidos pelos valores de *cooling setpoint*, o que demonstra que qualquer tentativa de refrigerar o edifício neste período faz com que a fatura energética aumente permitindo logo à partida concluir que não é vantajoso refrigerar o edifício durante o período em que o bi-horário é mais barato.

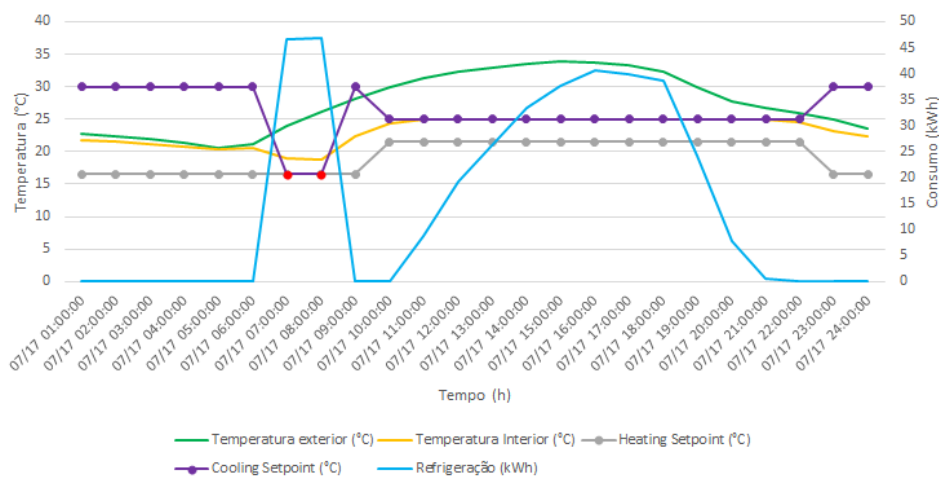


Figura 4.15: Simulação que revela um maior custo energético – 17 de julho

Os resultados para a simulação que revelou um maior custo energético estão representados na figura anterior, em que o *cooling setpoint* às 7h e às 8h está definido em 16,5°C. Na tentativa de diminuir a temperatura no interior do edifício é possível verificar que o sistema AVAC não tem capacidade para que a temperatura interior do edifício desça até aos 16,5°C.

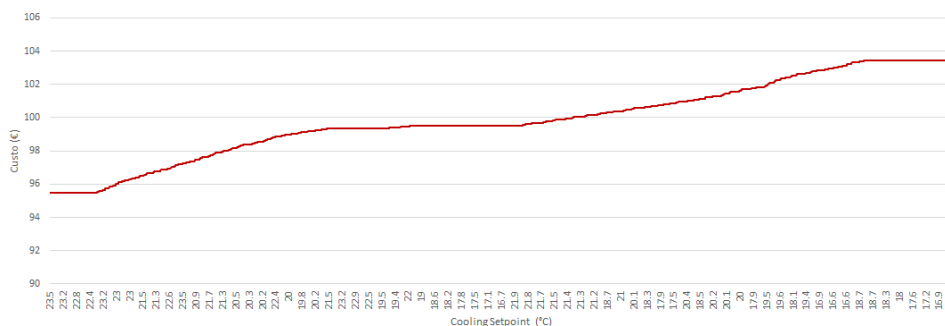


Figura 4.16: Custo energético total para diferentes valores de *cooling setpoint* às 8h – 17 de julho

A tentativa de arrefecer o edifício nas horas antes da abertura do edifício ao público, fazendo uso da *tarifa bi-horária opção diária*, acaba por não ser vantajosa pois revela um aumento de custo energético à medida que o *cooling setpoint* vai diminuindo. O custo energético para os valores de *cooling setpoint* que se revelaram ser os mais económicos, aplicando a *tarifa bi-horária opção diária*, é de 95,48€ o que representa um aumento de 21.7% quando em comparação à simulação realizada com a *tarifa simples* (78,48€), podendo assim concluir que é mais económico a utilização da *tarifa simples* e não optar por uma estratégia de arrefecimento do edifício durante o período noturno através da utilização do bi-horário.

4.2.2 Semana de inverno

Os valores de temperatura que se situam entre 17.9°C e 22.6°C são considerados valores que estão dentro do conforto térmico para a semana de inverno. No caso em que se verifique uma temperatura no interior do edifício que não esteja compreendida neste intervalo de valores o sistema AVAC aquece/refrigera o interior do edifício de forma a manter os níveis de conforto térmico.

4.2.2.1 Setpoints constantes ao longo da semana

Tal como foi anteriormente realizado para a semana de verão, nesta primeira análise de consumos foi estabelecido que o sistema AVAC está ativo durante as 24h do dia em todos os dias da semana. Com este estudo pretende-se saber quais os valores de consumos energéticos de forma concluir se esta é ou não uma opção válida que permita obter um menor consumo energético. Foram realizadas várias simulações de forma a entender qual a influência da escolha dos valores de setpoints nos consumos energéticos do edifício. Foram realizadas 35 simulações em que durante toda a semana o *cooling setpoint* foi fixado em 22.6°C. O *heating setpoint* foi variando ao passo de 0.1°C, entre simulações, de 17.9°C a 22.5°C.

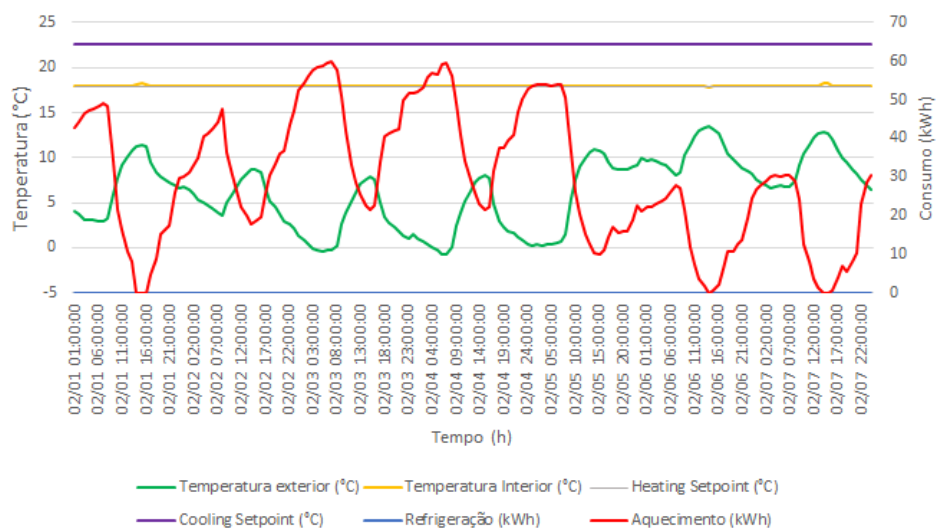


Figura 4.17: Resultado da simulação realizada para o valor de *heating setpoint* igual a 17.9°C – 1 a 7 de fevereiro

No gráfico 4.17 encontram-se traçados os limites de conforto térmico para o inverno, em que a temperatura interior pode tomar qualquer valor entre os 17.9°C e os 22.6°C. Qualquer valor fora destes limites fará com que o edifício esteja fora da zona de conforto térmico, situação que se pretende evitar. Após a realização desta primeira simulação para a semana de inverno é possível verificar que a temperatura interior do edifício está praticamente sempre situada nos 17.9°C. Isto deve-se ao facto de a temperatura interior do edifício ter uma forte relação com a temperatura verificada no seu exterior. Como a temperatura exterior tem sempre valores inferiores a 17.9°C, e estando o *heating setpoint* definido para este valor, o sistema AVAC aquecerá o edifício de forma a que este valor seja mantido.

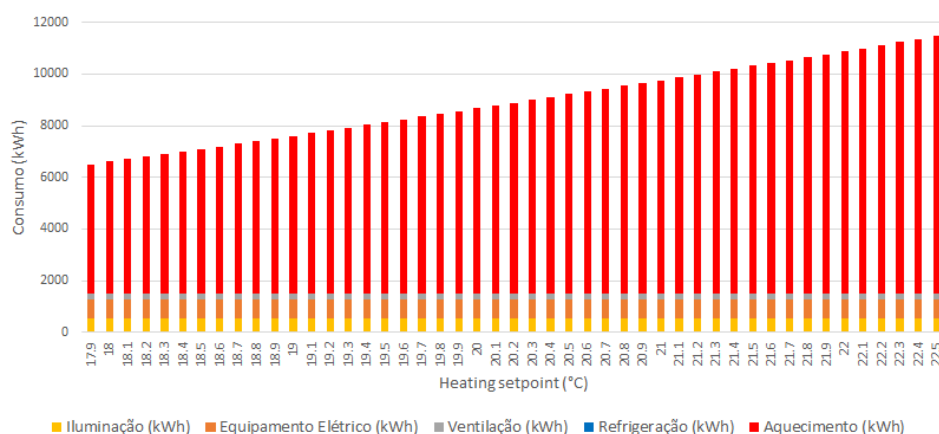


Figura 4.18: Variação dos consumos para diferentes valores de heating setpoint

Por análise da figura 4.18 é possível conhecer os consumos desagregados para diferentes

valores de *heating setpoint* para a semana de inverno. A simulação que apresenta um menor consumo energético foi realizada para um valor de *heating setpoint* igual a 17.9°C e, na situação oposta, a simulação feita com um valor de *heating setpoint* fixo em 22.5°C apresentou o maior consumo energético. Por análise gráfica é possível ver que há uma tendência para que o consumo energético aumente à medida que o *heating setpoint* aumenta. Estas simulações foram realizadas para uma semana do ano em que as temperaturas exteriores são baixas e, como a temperatura interior tem uma tendência a acompanhar a temperatura exterior, à medida que se aumenta o valor do *heating setpoint* o sistema AVAC terá de consumir mais energia elétrica destinada ao aquecimento do edifício. Dadas as baixas temperaturas não existe registo de qualquer consumo por parte da refrigeração.

Tabela 4.5: Consumos energéticos desagregados e custos para três valores de heating setpoint

Heating Setpoint (°C)	Iluminação (kWh)	Equipamento Elétrico (kWh)	Sistema AVAC (Kwh)	Aquecimento (kWh)	Refrigeração (kWh)	Ventilação (kWh)	Tarifa Simples (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Diária (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Semanal (EUR)
17.9	553.45	700.7	5259.107084	5004.227084	0	254.88	1047.42	955.53	975.03
18	553.45	700.7	5354.863062	5099.983062	0	254.88	1062.81	970.4	989.75
22.5	553.45	700.7	10208.43702	9953.557019	0	254.88	1843.33	1719.76	1720.16

A tabela 4.5 apresenta os valores dos consumos energéticos desagregados e custos totais para diferentes tarifários para exemplos de três valores de *heating setpoint*.

Quando o *heating setpoint* do sistema AVAC é definido para 18°C é registado um aumento do consumo AVAC de 1.8% quando em comparação com a simulação em que o *heating setpoint* é definido a 17.9°C. Para o caso que demonstra ter um maior consumo, ao escolher o *heating setpoint* igual a 22.5°C, regista-se um aumento considerável no consumo de energia elétrica quando em comparação à escolha do *cooling setpoint* igual a 17.9°C, em que ocorre um aumento de 94.1% no consumo energético por parte do sistema AVAC.

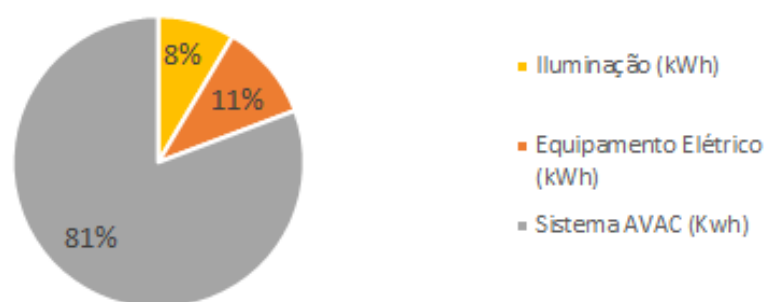


Figura 4.19: Relação dos consumos energéticos desagregados para o heating setpoint igual a 17.9°C

Relativamente aos consumos obtidos pelo sistema AVAC quando o *heating setpoint* é definido para os 17.9°C, 5% é destinado para a ventilação enquanto 95% é destinado ao aquecimento do

edifício. A refrigeração tem um consumo de 0%.

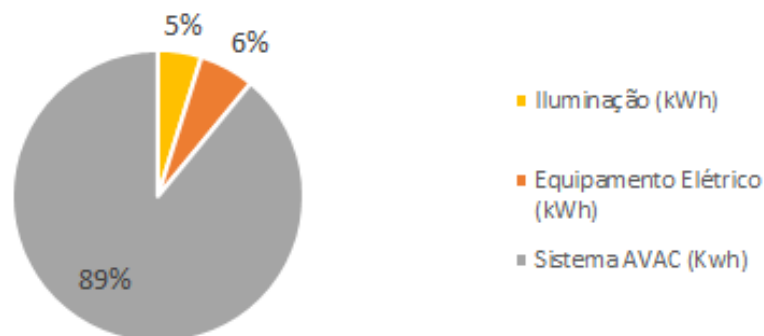


Figura 4.20: Relação dos consumos energéticos desagregados para o heating setpoint igual a 22.5°C

Quando o *heating setpoint* assume o valor de 22.5°C verifica-se um enorme aumento de consumos em que o sistema AVAC é responsável por 89% do total da energia consumida pelo edifício. Para este valor de *heating setpoint* a ventilação consome 2% e o aquecimento é responsável pelo consumo de 98% do consumo verificado pelo sistema AVAC.

Os custos resultantes da aplicação da *Tarifas Simples*, *Bi horária Opção semanal* e *Bi horária Opção Diária* podem ser consultadas na figura 4.21

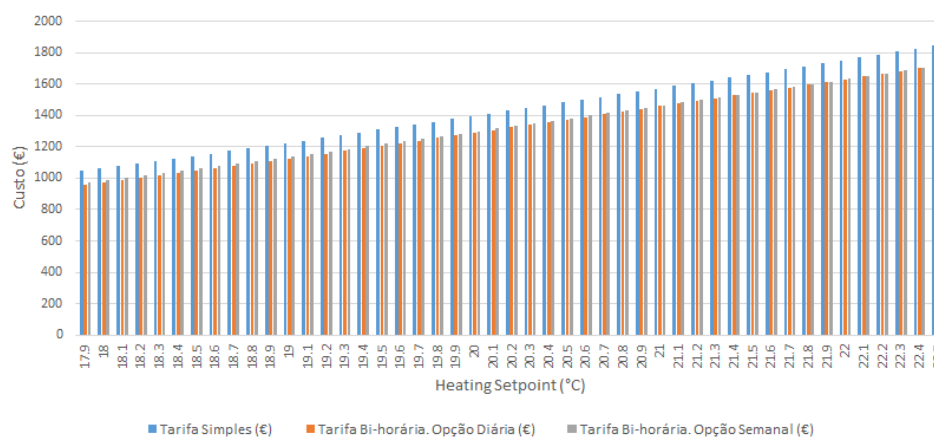


Figura 4.21: Custo total da energia elétrica para diferentes valores de heating setpoint

Do conjunto de simulações realizadas a mais económica foi realizada para o valor de *heating setpoint* igual a 17.9°C com a *Tarifa Bi horária – Opção diária*, com um valor de 955.53 €. Aplicando a mesma tarifa e escolhendo o *heating setpoint* igual a 22.5°C regista-se um custo de 1719.76€, o que significa que ocorre um aumento de 80% no custo energético entre a escolha destes dois *setpoints*. Caso o tarifário escolhido seja a *Tarifa simples*, e para o *heating setpoint*

definido nos 17.9°C, verifica-se um aumento de 9.6% em relação à *Tarifa bi horária – opção diária*.

Após a realização das simulações e análise dos seus resultados verifica-se que quanto maior o valor do *heating setpoint* maior é o consumo. Como estas simulações são realizadas para uma altura do ano em que a temperatura exterior é inferior ao limite de temperatura de conforto térmico, é necessário um maior consumo energético por parte do sistema AVAC para que a temperatura interior permaneça em níveis aceitáveis de conforto.

4.2.2.2 Abertura de *setpoints* durante o período noturno

Nesta secção são demonstrados os resultados obtidos através de simulações realizadas considerando que o sistema AVAC se encontra ativo durante o horário de funcionamento do edifício. Durante o período em que o edifício se encontra encerrado será realizada uma abertura de *setpoints* de forma a simular a inatividade do sistema AVAC. Para que o edifício mantenha a temperatura no seu interior dentro dos valores limites de conforto térmico o sistema AVAC aquece/arrefece o interior do edifício de forma a manter a temperatura entre os 17.9°C e os 22.6°C.

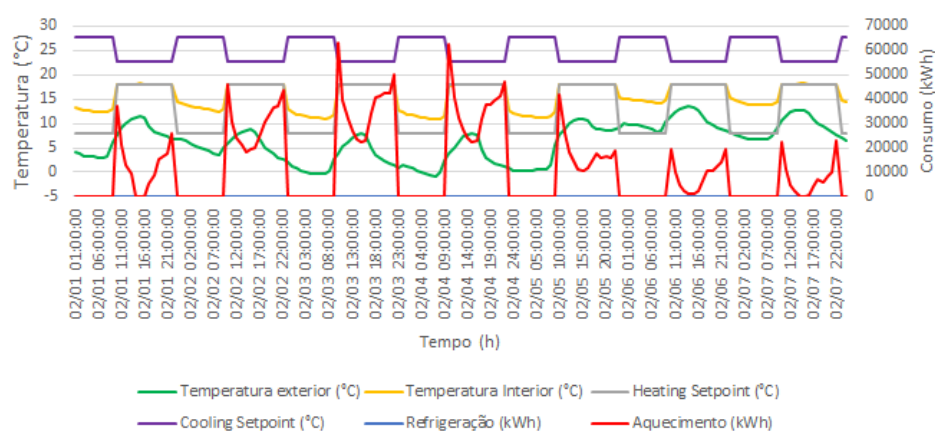


Figura 4.22: Resultado da simulação para o *heating setpoint* igual a 17.9°C no período diurno

Durante o período em que o edifício se encontra com ocupantes no seu interior tanto o *heating setpoint* assim como *cooling setpoint* permanecem constantes ao longo do tempo. Para este período foi realizada uma primeira simulação em que o *cooling setpoint* é fixo nos 22.6°C e o *heating setpoint* assume o valor de 17.9°C. Para as simulações seguintes apenas foi alterado o *heating setpoint* com um aumento sucessivo de 0.1°C entre cada simulação. Pretende-se assim conhecer qual o impacto que a alteração do *heating setpoint*, durante as horas em que o edifício se encontra aberto ao público, provoca no consumo do sistema AVAC.

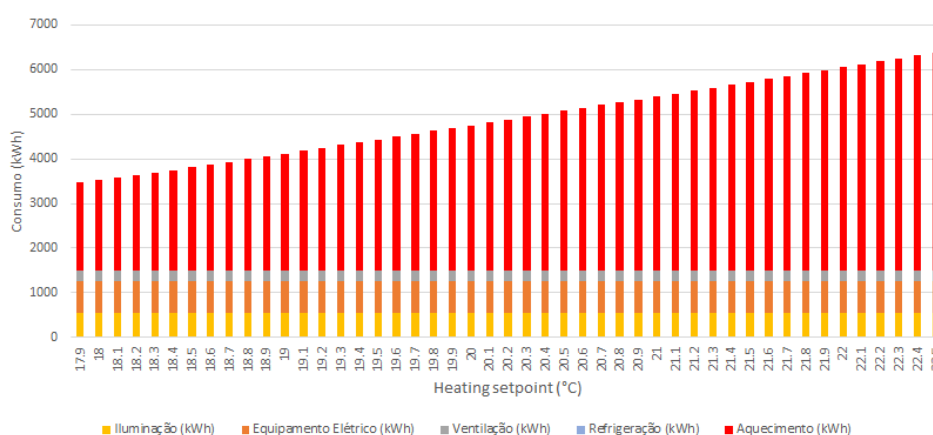


Figura 4.23: Consumos desagregados para diferentes valores de *heating setpoint*

A figura 4.23 permite conhecer a tendência dos consumos energéticos do sistema AVAC. Como foi referido anteriormente os valores dos consumos por parte do sistema de iluminação e do equipamento elétrico são iguais para toda a semana pois o horário de funcionamento desse sistema e equipamentos são iguais para todos os dias da semana. O sistema AVAC é o único sistema que apresenta variações de consumo devido às alterações climáticas verificadas no exterior do edifício. Verifica-se o menor consumo energético quando o *heating setpoint* está definido a 17.9°C, com um consumo total de 3463.33kWh em que 2209.18kWh são consumidos pelo sistema AVAC. Caso se pretenda que o sistema AVAC funcione com o *heating setpoint* definido para 22.5°C o consumo energético total passa para 6381.07kWh, em que 5126.92kWh são relativos ao consumo AVAC, pelo que ocorre um aumento de 132.1% por parte deste sistema.

Tabela 4.6: Consumos desagregados e custos totais para diferentes valores de heating setpoint – semana de Inverno

Heating Setpoint (°C)	Consumo Total (kWh)	Iluminação (kWh)	Equipamento Elétrico (kWh)	Sistema AVAC (KWh)	Aquecimento (kWh)	Refrigeração (kWh)	Ventilação (kWh)	Tarifa Simples (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Diária (EUR)	Tarifa Bi-horária. Opção Semanal (EUR)
17.9	3463.333211	553.45	700.7	2209.183445	1954.303445	0	254.88	556.95	666.05	620.7
18	3520.056961	553.45	700.7	2265.907195	2011.027195	0	254.88	566.07	677.3	630.92
22.5	6381.071973	553.45	700.7	5126.922207	4872.042207	0	254.88	1026.16	1244.68	1134.95

Na tabela 4.6 são apresentados alguns resultados obtidos através de 3 simulações realizadas. É possível verificar que uma ligeira alteração de 0.1°C, passando o *heating setpoint* de 17.9°C para 18°C, verifica-se um aumento do consumo AVAC de 2.6%.

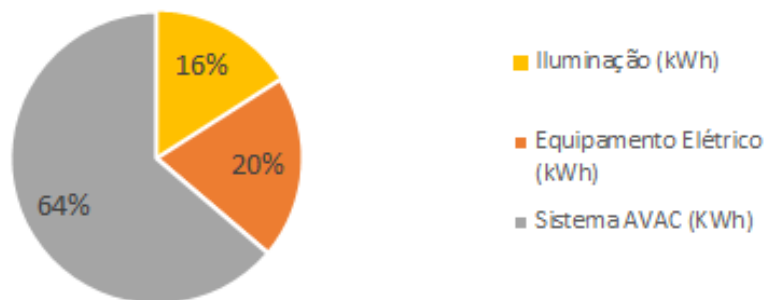


Figura 4.24: Consumos desagregados quando o *heating setpoint* é igual a 17.9°C

Caso o *heating setpoint* seja definido nos 17.9°C a ventilação tem um peso de 12% do consumo desagregado do sistema AVAC e o aquecimento é responsável por 88%. Não existe consumo por parte do arrefecimento.

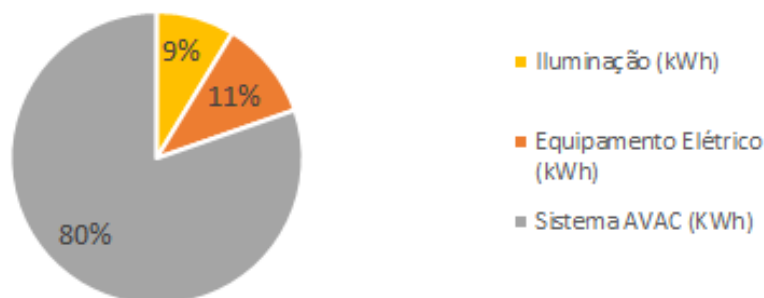


Figura 4.25: Consumos desagregados quando o *heating setpoint* é igual a 22.5°C

Caso a opção seja colocar o *heating setpoint* a 22.5°C a ventilação é responsável pelo consumo de 5% enquanto o aquecimento é responsável pelo consumo de 95% por parte do consumo desagregado do sistema AVAC, registando-se um valor nulo para o consumo da refrigeração.

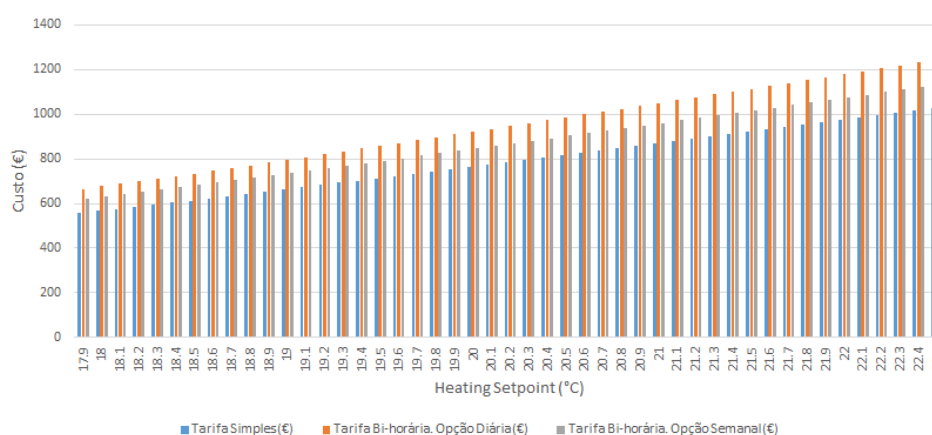


Figura 4.26: Custo total da energia elétrica para diferentes valores de cooling setpoint

A combinação do *heating setpoint* de valor 17.9°C com a *Tarifa simples* é a que reflete um menor custo energético para a semana de inverno, com um valor de 556.95€. No outro caso extremo, caso o *heating setpoint* assuma o valor de 22.5°C, o custo energético para esta semana aumenta para 1026.16 €, representando um aumento de 84.2%. Para qualquer *setpoint* que venha a ser escolhido a *Tarifa simples* é sempre a que reflete um menor valor de custo energético. Caso o tarifário escolhido for o *Bi horário – Opção diária* (que revela o custo energético mais caro) para o mesmo *heating setpoint* de 17.9°C, e em relação à *Tarifa simples*, verifica-se um aumento de 19.6% no total da fatura de energia elétrica.

4.2.2.3 Aquecimento do edifício durante o período noturno

Fazendo uso da *tarifa bi-horária opção diária*, em que esta tarifa é mais barata entre as 22h e as 8h quando em comparação com a *tarifa simples*, pretende-se aquecer o edifício no período antes da abertura do edifício ao público de forma a verificar se a inércia térmica do edifício, conjuntamente com os mais diversos fatores, permitem que se obtenham menores custos energéticos. Nesta secção são demonstrados os resultados de várias simulações realizadas para o dia que se prevê a temperatura exterior mais baixa (-0.75°C, no dia 4 de fevereiro).

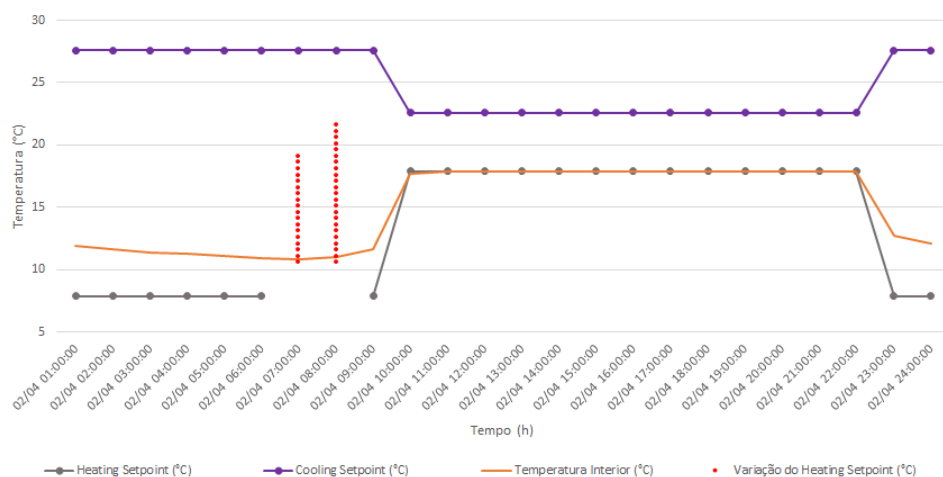


Figura 4.27: Exemplo dos valores de Heating Setpoint assumidos para o dia 4 de fevereiro

Na figura anterior, com pontuação a cor vermelha, é possível ver uma amostra representativa dos valores que o *heating setpoint* pode assumir entre as 6h e as 8h da manhã. Foram realizadas várias simulações em que às 7h o *heating setpoint* assume valores entre 10.6°C e 19°C com o passo de 0.1°C, perfazendo um total de 85 valores possíveis. Às 8h o *heating setpoint* assume valores entre os 10.6°C e os 21.6°C, com o passo de 0.1°C, perfazendo um total de 111 valores possíveis. A combinação de todos estes valores resulta na realização de 9435 simulações. Devido às limitações computacionais o jEplus devolve um aviso no sentido de alertar que a realização de mais de 10000 simulações pode fazer com que o software bloqueie não se conseguindo obter os resultados finais das simulações, o que acabou por se comprovar após várias tentativas. Desta forma este conjunto de valores de *heating setpoint* foi escolhido com base em simulações anteriores, em que foi possível tomar conhecimento dos valores de temperatura interior do edifício. O ideal seria realizar um “varrimento” de todas as hipóteses de combinações entre os valores de *heating setpoint* para cada hora, mas devido ao elevado peso computacional que estas simulações acarretam é possível, escolhendo um intervalo de valores mais curto, reduzir significativamente o número de simulações, o tempo de simulação e o recurso de memória computacional.

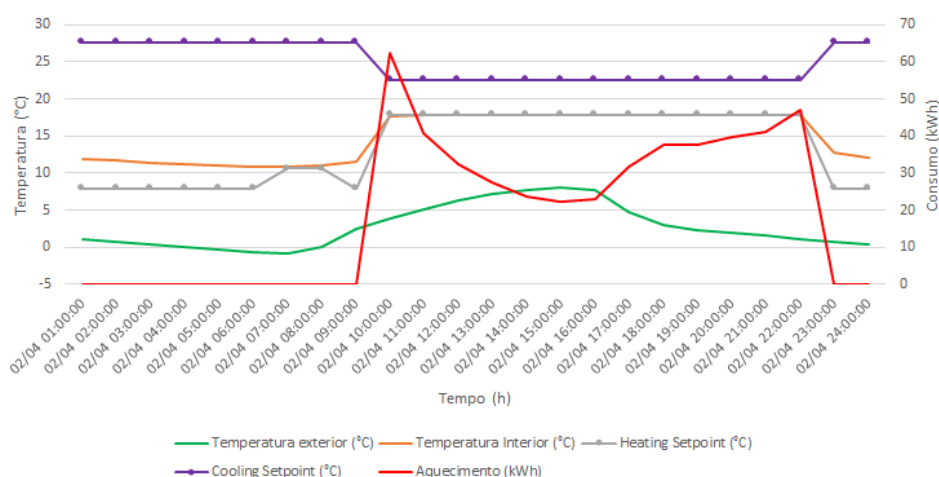


Figura 4.28: Simulação que revelou menor custo energético – 4 de fevereiro

Na figura anterior é possível verificar os resultados da simulação para o caso que revelou ser o mais económico quando aplicada a *Tarifa bi-horária opção de ciclo diário*. Tanto às 7h como às 8h o *heating setpoint* assume o valor de 10,6°C. É possível verificar que a temperatura no interior do edifício durante estas horas é superior aos 10,6°C definidos pelos valores de *heating setpoint*, o que demonstra que qualquer tentativa de aquecer o edifício neste período faz com que a fatura energética aumente permitindo logo à partida concluir que não é vantajoso aquecer o edifício durante o período em que o bi-horário é mais barato.

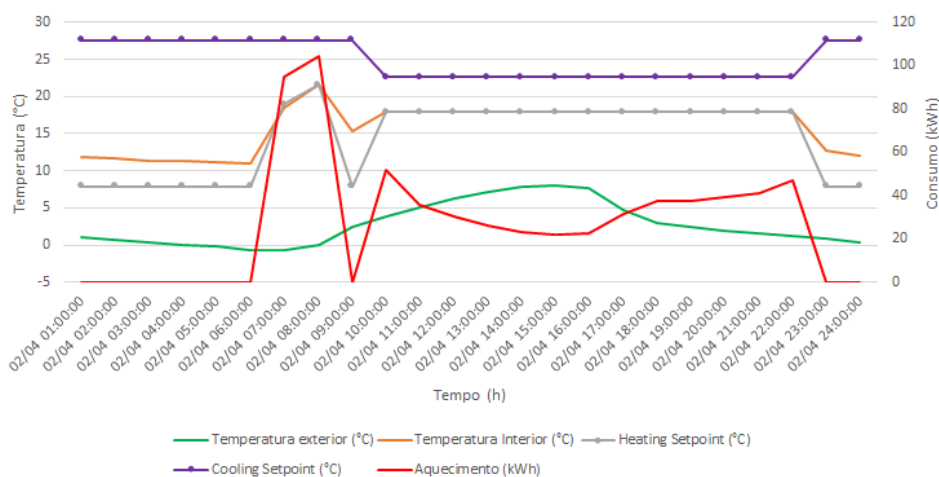


Figura 4.29: Simulação que revelou maior custo energético – 4 de fevereiro

Os resultados para a simulação que revelou um maior custo energético estão representados na figura anterior, em que o *heating setpoint* às 7h está definido nos 19°C e às 8h está definido nos 21,6°C. É de salientar que entre as 8h e as 9h, quando o *heating setpoint* baixa significativamente, a temperatura interior do edifício sofre uma alteração de 21,5°C para 15,3°C, ocorrendo uma

variação de temperatura de 6.2°C no espaço de 1 hora, o que demonstra a baixa capacidade que o edifício possui em manter a temperatura.

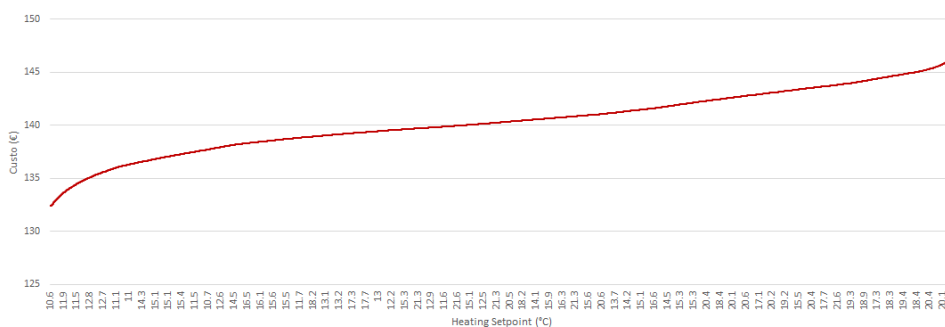


Figura 4.30: Custo energético total para diferentes valores de Heating Setpoint às 8h – 4 de fevereiro

A tentativa de aquecer o edifício nas horas imediatamente antes da abertura do edifício ao público, fazendo uso da *Tarifa bi-horária opção diária*, acaba por não ser vantajosa pois revela um aumento de custo energético à medida que o *heating setpoint* vai aumentando. O custo energético para os valores de *heating setpoint* que revelaram ser os mais económicos, aplicando a *Tarifa bi-horária opção diária*, é de 132.45€ que representa um aumento de 20.5% quando em comparação à simulação realizada com a *tarifa simples* (109.91€), podendo assim concluir que é mais económico a utilização da *tarifa simples* e não optar por uma estratégia de aquecimento do edifício durante o período noturno através da utilização do bi-horário.

4.3 Equipamento elétrico

Os equipamentos elétricos quando estão em funcionamento dissipam energia na forma de calor. Esse calor produzido pode ter influência na alteração da temperatura interior do edifício podendo levar à alteração do consumo energético por parte do sistema AVAC. Assim, para além dos consumos energéticos diretamente relacionados com este tipo de cargas, é importante tomar conhecimento de como o funcionamento destes equipamentos influenciam o consumo AVAC. No capítulo anterior é demonstrado qual a carga que está ligada à rede de energia elétrica para cada hora do dia. Com base nesse diagrama de cargas e nas características específicas do equipamento elétrico o simulador considera no seu algoritmo a influência dessas cargas no cálculo da temperatura interior do edifício. Consoante a temperatura verificada no interior do edifício, e nos *setpoints* definidos, o sistema AVAC entra em funcionamento sempre que necessário.

Para a realização do estudo da influência que as cargas têm no consumo do sistema AVAC várias simulações foram efetuadas. A partir do diagrama de cargas diário inicialmente previsto foram realizadas simulações para +/-50% dos valores mencionados nesse diagrama, em que valor da carga varia 10% entre cada simulação. Para este estudo tanto a iluminação assim como o número de ocupantes assumem os valores previstos definidos no capítulo anterior.

4.3.1 Semana de verão

Na simulação correspondente à semana de verão, e para os valores previstos de carga dos equipamentos elétricos, regista-se um consumo de 700,7 kWh por parte do equipamento elétrico e de 990.19kWh no consumo do sistema AVAC. Os valores de carga dos equipamentos elétricos podem ser sujeitos a variações fazendo variar também os consumos do sistema AVAC. Na figura 4.8, para além de se poder observar quais os *setpoints* utilizados para as simulações cujos resultados são aqui demonstrados, é possível ver os resultados obtidos de temperatura interior e consumo AVAC para a simulação com os valores de carga inicialmente previstos. Para as restantes simulações o nível de carga varia entre $\pm 50\%$ em relação ao seu valor da simulação inicial.

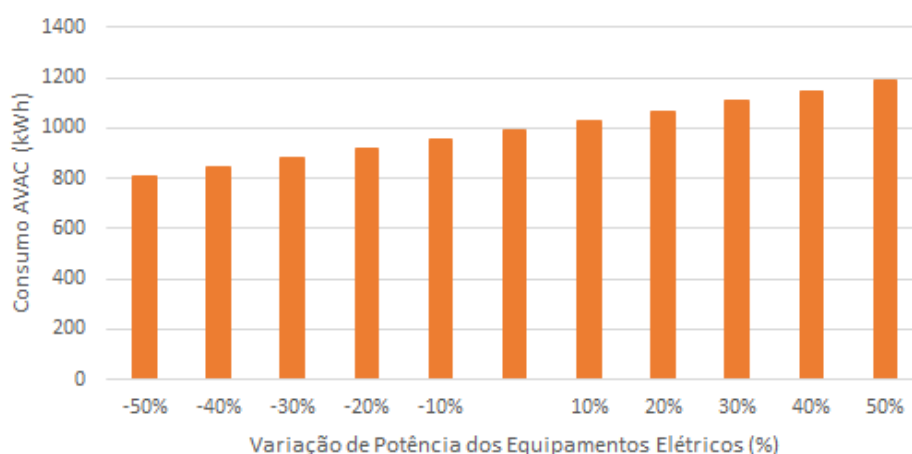


Figura 4.31: Consumo AVAC para diferentes valores de potência dos equipamentos elétricos – semana de verão

Por análise da figura anterior é possível conhecer a tendência dos consumos do sistema AVAC quando ocorre uma variação de carga do equipamento elétrico. Um aumento dos níveis de carga faz com que a temperatura média no interior do edifício suba, aumentando também o consumo por parte do sistema AVAC. Caso ocorra uma diminuição de carga o consumo do sistema AVAC também diminui.

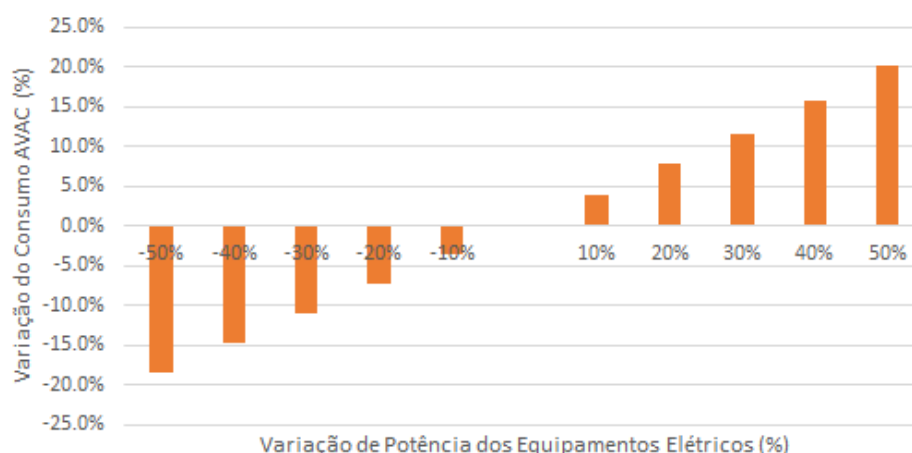


Figura 4.32: Variação do consumo do sistema AVAC para diferentes níveis de potência do equipamento elétrico - verão

Quando a carga dos equipamentos elétricos é reduzida em -50% em relação ao valor previsto verifica-se uma redução de 18,4% no consumo do sistema AVAC. Para o caso oposto, quando a carga é aumentada em 50% em relação ao valor previsto, ocorre um aumento de consumo do sistema AVAC de 20.1%. Foi também realizada uma simulação de forma a determinar qual a influência que o funcionamento de todo o equipamento elétrico tem no consumo do sistema AVAC. Para tal foi considerado um cenário em que o equipamento elétrico do edifício esteve desligado durante toda a semana de verão, obtendo-se um consumo energético do sistema AVAC de 662.65 kWh. Caso o equipamento elétrico esteja ligado conforme o diagrama de cargas previsto é verificado um consumo de 990.19 kWh, ocorrendo assim um aumento de 49.4% de consumo energético por parte do sistema AVAC.

4.3.2 Semana de inverno

Para a semana de inverno foram realizadas várias simulações com o objetivo de determinar o consumo do sistema AVAC para vários níveis de carga do equipamento elétrico. Para a semana de inverno, e para os valores inicialmente previstos de carga, foi obtido um consumo de 700.7 kWh por parte do equipamento elétrico e de 2209.2 kWh de consumo AVAC. Estas simulações foram realizadas para os dados inicialmente previstos de iluminação e de ocupação. Na imagem 4.22, para além de se poder observar quais os *setpoints* utilizados para as simulações cujos resultados são aqui demonstrados, é possível ver os resultados obtidos de temperatura interior e consumo AVAC para a simulação de valores de carga inicialmente previstos. Para as restantes simulações o nível de carga varia entre +50% em relação ao seu valor da simulação inicial.

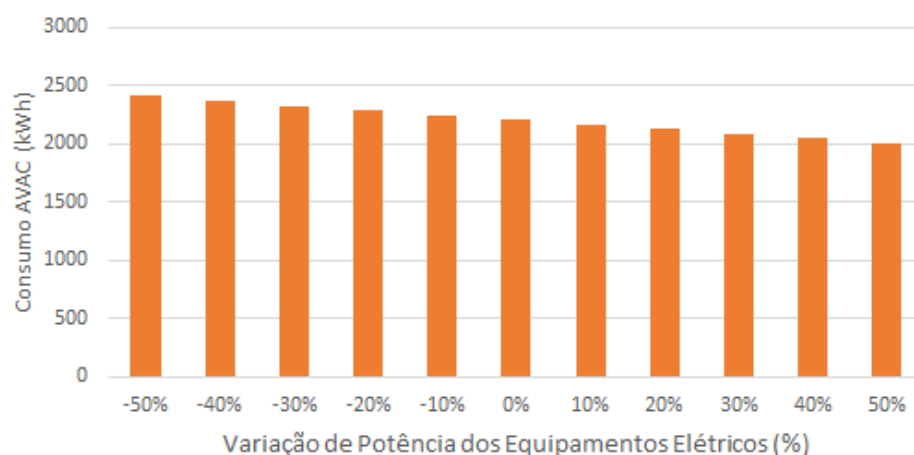


Figura 4.33: Consumo AVAC para diferentes níveis de potência dos equipamentos elétricos – inverno

Analisando a figura anterior é possível verificar que à medida que se realiza um aumento de carga do equipamento elétrico são obtidos menores consumos do sistema AVAC. A presença de maior carga dentro do edifício faz com que a temperatura média aumente. Como estas simulações foram realizadas para uma semana de inverno, em que o aquecimento é utilizado para manter uma temperatura dentro do conforto térmico, uma maior presença de carga do equipamento elétrico contribui para a diminuição do consumo AVAC.

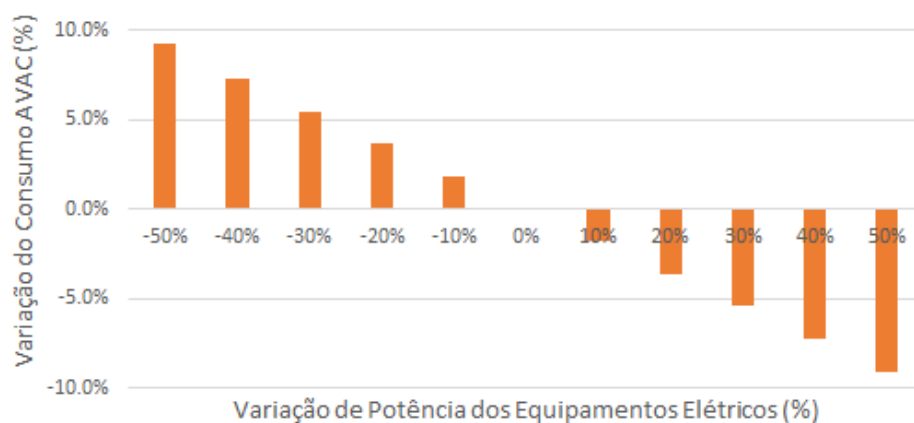


Figura 4.34: Variação do consumo do sistema AVAC para diferentes níveis de potência do equipamento elétrico - inverno

Reduzindo a carga do equipamento elétrico em -50% do valor previsto é possível verificar que ocorre um aumento de consumo por parte do sistema AVAC de 9.2%. Para o caso em que a carga é aumentada em 50% regista-se uma diminuição do consumo do sistema AVAC de 9.1%.

Para determinar a influência que a totalidade do equipamento elétrico tem no consumo do sistema AVAC foi realizada uma simulação em que o equipamento elétrico não foi considerado. Quando o equipamento elétrico está totalmente desligado obtém-se um consumo AVAC de 2624.3 kWh e quando o equipamento elétrico está ligado conforme o diagrama de carga prevista verifica-se um consumo de 2209.18 kWh. A presença do equipamento elétrico na semana de inverno faz com que ocorra uma diminuição de consumo por parte do sistema AVAC de 15.82%.

4.4 Iluminação

O consumo energético do sistema de iluminação de um edifício pode ter um peso significativo na fatura energética. O sistema de iluminação quando ligado produz calor que provoca uma alteração na temperatura interior do edifício. Nesta secção é feita uma análise comparativa do consumo do sistema AVAC entre o caso em que a iluminação está totalmente desligada e o caso em que a iluminação se encontra ligada segundo o diagrama previsto, de forma a demonstrar a influência que o sistema de iluminação tem no consumo do sistema AVAC. Nas simulações realizadas nesta secção a taxa de ocupação do edifício assim como os valores de potência do equipamento elétrico são os valores previstos inicialmente mencionados.

4.4.1 Semana de verão

A influência do sistema de iluminação na temperatura interior do edifício pode ser vista na figura seguinte. No período de uma semana o consumo energético do sistema de iluminação é de 553,45 kWh.

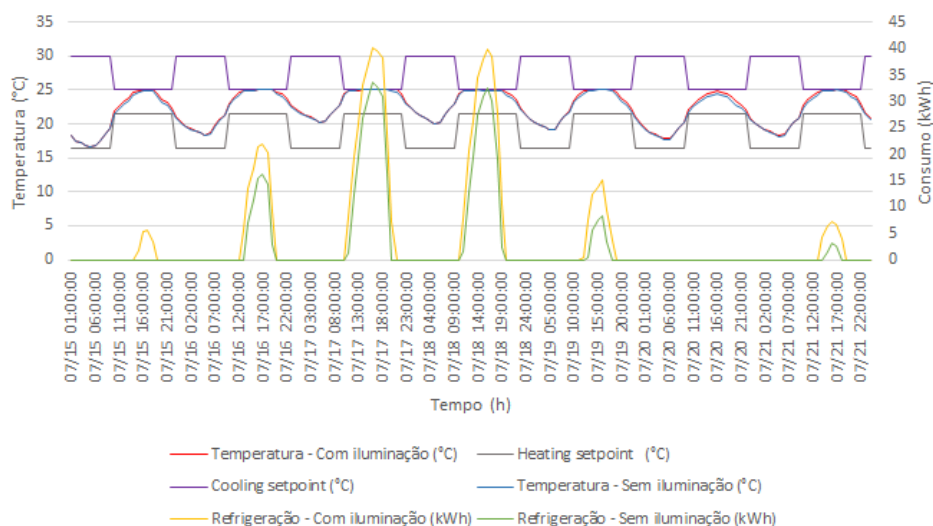


Figura 4.35: Variação da temperatura interior e consumo da refrigeração para simulações com e sem sistema de iluminação - semana de verão

Através da figura anterior é possível constatar que há uma tendência para a temperatura no interior do edifício ser superior no caso em que a iluminação está ligada. Numa análise comparativa da temperatura no interior do edifício é constatado que a temperatura média interior é superior em 0.15°C quando o sistema de iluminação está ligado.

Tabela 4.7: Temperatura média no interior do edifício para vários cenários de iluminação

	Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)
Sem iluminação	22.21
Com iluminação	22.37

Para o caso em que o sistema de iluminação está desligado, para a semana de verão, verifica-se um consumo do sistema AVAC de 738.26 kWh e para o caso em que o sistema de iluminação está ligado verifica-se um consumo de 990.19 kWh, ocorrendo assim um aumento de consumo de 34.1%.

4.4.2 Semana de inverno

Os resultados obtidos para a temperatura interior e consumo do aquecimento do sistema AVAC estão estritamente relacionados. Essa relação não é diretamente visível na figura seguinte pois a temperatura interior durante o período diurno ronda quase sempre o valor do *heating setpoint* devido à ação do sistema AVAC. Contudo, através da observação do traçado dos valores dos consumos do aquecimento para as simulações com e sem iluminação é possível ver que o consumo do aquecimento do edifício é mais elevado quando a iluminação está desligada.

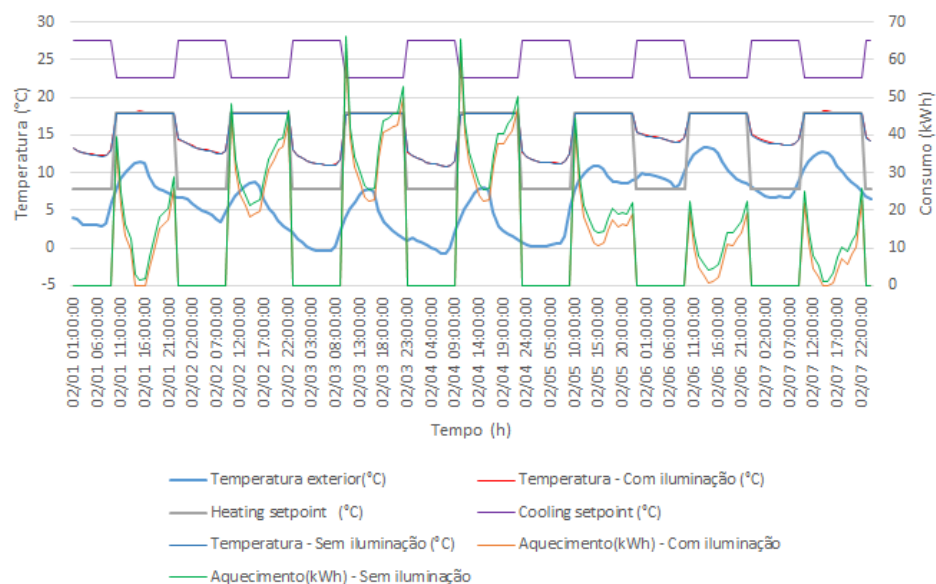


Figura 4.36: Variação da temperatura e consumo do aquecimento para simulações com e sem sistema de iluminação - semana de inverno

Dada a ação do sistema AVAC durante o dia a temperatura média no interior do edifício entre as duas simulações não sofre uma grande variação. Como o sistema AVAC é chamado a aquecer o edifício, em que o *heating setpoint* está definido em 17.9°C, e como se verificam temperaturas baixas no seu interior, durante o dia a temperatura no interior do edifício rondará sempre o valor de limite mínimo de conforto térmico para a época de Inverno.

Quando o sistema de iluminação se encontra desligado regista-se um consumo energético do sistema AVAC de 2478.65 kWh. Para a simulação em que o sistema de iluminação se encontra ligado com o seu normal funcionamento foi registado um consumo de 2209.18 kWh ocorrendo assim uma redução de 10.9% por parte do consumo do sistema AVAC.

4.5 Ocupantes

O número de ocupantes assim como a atividade que estes exercem dentro do edifício podem alterar a temperatura no interior do edifício fazendo com que ocorram variações no consumo por parte do sistema AVAC. Nas simulações realizadas nesta secção tanto a iluminação como os valores de carga dos equipamentos elétricos assumem os valores previstos. Os diagramas de ocupação do edifício podem ser consultados no capítulo 3. Foram realizadas várias simulações para demonstrar a influência que a variação do número de ocupantes no interior do edifício tem no consumo energético do sistema AVAC. A partir dos diagramas de ocupação inicialmente previsto serão realizadas simulações para $\pm 50\%$ dos valores desses diagramas espaçadas por um intervalo de 5% entre si.

4.5.1 Semana de verão

Na simulação correspondente à semana de verão, para os valores previstos de número de ocupantes regista-se um consumo de 990.19 kWh por parte do sistema AVAC.

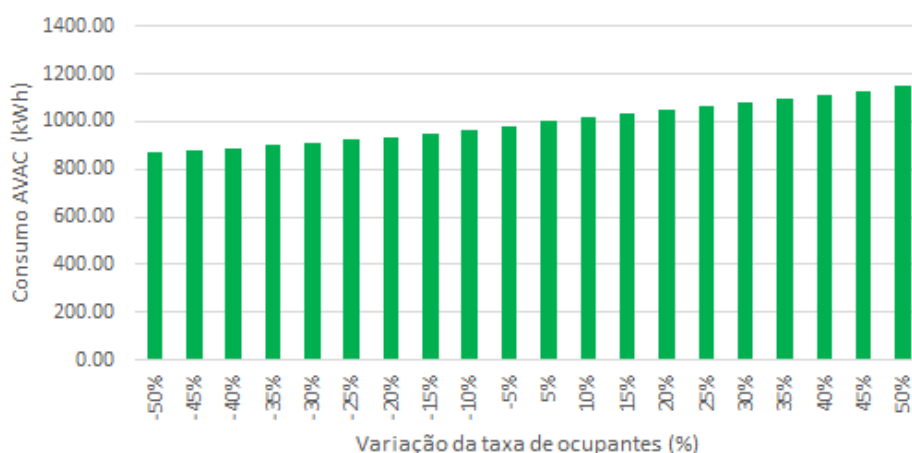


Figura 4.37: Consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - verão

Por análise da figura anterior é possível observar que o consumo do sistema AVAC sofre alterações quando o edifício é submetido a diferentes taxas de ocupação. Um aumento do número de ocupantes leva a um aumento de consumo por parte do sistema AVAC enquanto caso o número de ocupantes seja inferior ao previsto o consumo AVAC diminuirá.

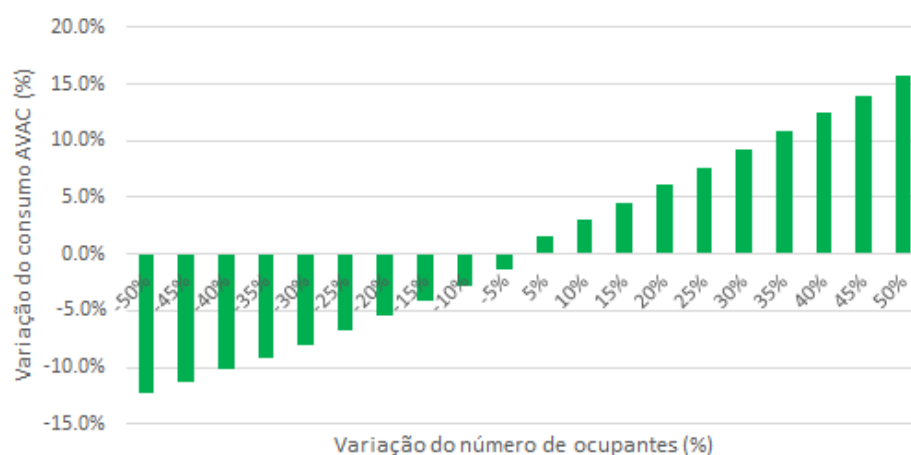


Figura 4.38: Variação do consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - verão

Para a simulação em que o número de ocupantes é aumentado em 50% o sistema AVAC regista um consumo de 1145.98kWh, verificando-se um aumento do consumo do sistema AVAC de 15,7% em relação à situação inicialmente prevista. Para a simulação em que a taxa de ocupação é de -50% foi registado uma diminuição 12.2%. Foi também realizada uma simulação para a semana de verão em que foi suposto que o edifício não estava ocupado durante toda a semana mas os restantes sistemas foram considerados ativos. Verificou-se que a presença do número previsto de ocupantes no interior do edifício faz aumentar o consumo AVAC em 27.3%.

4.5.2 Semana de inverno

Na simulação para a semana de inverno, em que todos os sistemas funcionam com os valores inicialmente previstos, foi registado um consumo do sistema AVAC de 2209.18 kWh.

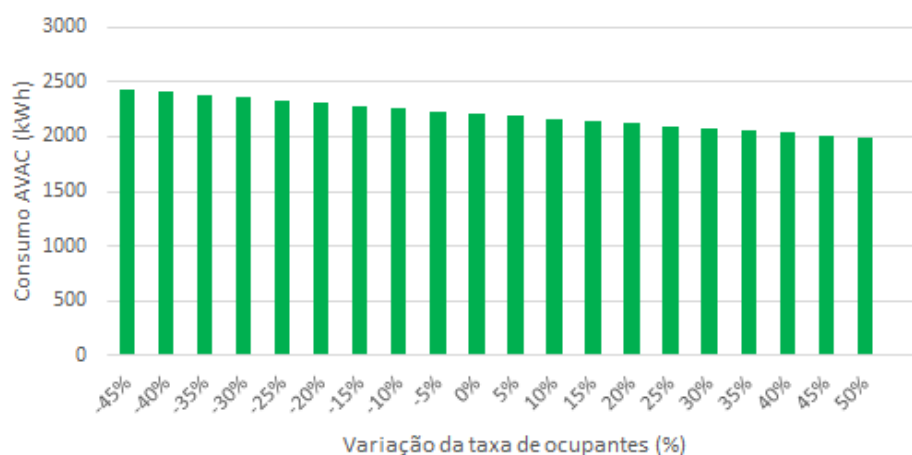


Figura 4.39: Consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação - inverno

Através da figura anterior pode-se verificar a relação que a variação da taxa de ocupação do edifício tem com o consumo do AVAC. Pode-se assim verificar que um aumento do número de ocupantes faz baixar o consumo do sistema AVAC. Caso o número de ocupantes seja inferior ao previsto isso faz com que o consumo do sistema AVAC aumente.

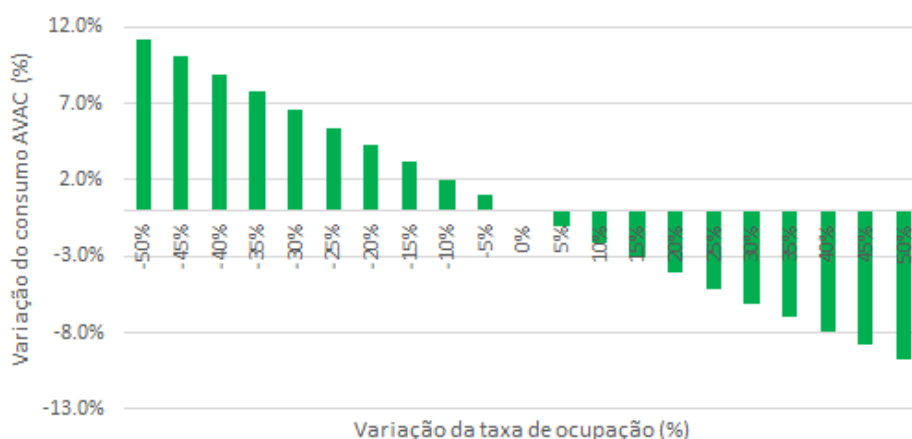


Figura 4.40: Variação do consumo do sistema AVAC para uma variação da taxa de ocupação – inverno

Quando o número de ocupantes é aumentado em 50% é registado um consumo AVAC de 1994.95 kWh, que representa uma diminuição do consumo do sistema AVAC de 9.7%. Se a variação do número de ocupantes for de -50% em relação ao inicialmente previsto, regista-se um consumo AVAC de 2456.06 kWh, ocorrendo um aumento do sistema AVAC de 11.2% face ao cenário inicialmente previsto. De modo a determinar qual o impacto que os ocupantes têm no consumo do sistema AVAC foi realizada uma simulação em que não é considerada a presença de

ocupantes no interior do edifício. Verificou-se para esta situação um consumo AVAC de 2705.88 kWh. Pode-se assim dizer que, para este caso de estudo, quando o edifício se encontra com o número previsto de ocupantes no seu interior ocorre uma diminuição de consumo AVAC de 18.4% na semana de inverno.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

5.1 Satisfação dos Objetivos

A necessidade de redução de energia e de custos em edifícios é fundamental tanto para a preservação do meio ambiente assim como para benefício do consumidor de energia elétrica. Para a determinação dos consumos energéticos de um edifício é interessante realizar previsões e análise de consumos energéticos para um determinado horizonte temporal.

O objetivo principal deste trabalho é prever os consumos de energia elétrica de um edifício com base em previsões meteorológicas para uma semana de verão e uma semana de inverno. Para além das previsões meteorológicas existem outras variáveis que podem influenciar os consumos energéticos: equipamento elétrico, iluminação e número de ocupantes. Para o estudo da influência que estas variáveis têm nos consumos do edifício foram considerados diferentes tipos de cenários em que estas variáveis foram sujeitas a alterações. Após a realização deste trabalho foi possível obter valores concretos de consumos totais e desagregados para o edifício em estudo para determinados cenários. Obtiveram-se resultados que permitem auxiliar a tomada de decisões por parte do gestor do edifício. Neste caso de estudo verificou-se que o sistema AVAC sofre grandes variações de consumo energético muito devido aos fatores meteorológicos, pelo que é fundamental ter uma real noção da influência que a escolha dos *setpoints* do sistema AVAC têm nos consumos de forma a que as melhores opções sejam tomadas. O edifício que foi modelizado neste projeto não é uma cópia fiel de um edifício já implementado no terreno pelo que a validação dos dados obtidos através das simulações realizadas não pode ser realizada. Contudo o *EnergyPlus* tem mais que provas dadas na área da simulação energética em edifícios pelo que os resultados obtidos podem ser considerados válidos. A nível pessoal, a realização deste trabalho permitiu-me conhecer um conjunto de ferramentas e metodologias que até ao início deste projeto me eram totalmente desconhecidas o que tornou o tema motivante e desafiante. É um tema bastante atual pelo que todos os conhecimentos aqui obtidos poderão certamente ser aplicados num futuro próximo.

5.2 Respostas obtidas e conclusões gerais

Através da análise dos resultados obtidos é possível verificar que vários fatores influenciam o consumo do sistema AVAC. Para este caso de estudo a previsão do consumo energético por parte do equipamento elétrico e da iluminação não é de difícil obtenção pois, dadas as características de funcionamento do edifício, não sofrem muitas variações ao longo do tempo. A maior dificuldade na previsão de consumos energéticos está relacionada com o consumo por parte do sistema AVAC, em muito devido aos fatores meteorológicos e à variação da taxa de ocupação do edifício. Estes dois fatores têm uma relação muito próxima pois verificando-se determinadas condições meteorológicas no exterior do edifício pode levar a que ocorra uma alteração do número de ocupantes. O mesmo ocorre para os fins de semana e feriados em que a taxa de ocupação do edifício irá certamente sofrer variações mais acentuadas quando em comparação com um dia de semana normal. Neste caso de estudo essa situação foi considerada, em que na semana de inverno é previsto uma taxa de ocupação superior quando em comparação com a semana de verão.

Foi visto que a escolha dos *setpoints* do sistema AVAC tem uma enorme influência no consumo energético do edifício. Tanto para a semana de verão como para a semana de inverno foram realizadas várias simulações de forma a prever se é vantajoso ter o sistema AVAC em funcionamento durante o período noturno para diversos valores de *setpoints*. Foi feita uma comparação entre este cenário e o caso em que o sistema AVAC está desligado durante o período em que o edifício não se encontra em horário de funcionamento. Dada a baixa capacidade do edifício em manter a temperatura dentro dos limites de conforto térmico no período noturno, verificou-se que não é vantajosa a opção de ter o sistema AVAC ligado no período em que o edifício não se encontra aberto ao público. Para a semana de verão, e para o *cooling setpoint* que demonstrou ter um menor consumo energético (25°C), foi registado um consumo AVAC de 1773.28 kWh no caso em que o AVAC se encontra em funcionamento durante todo o dia. Foi registado um consumo de 990.18 kWh para o caso em que o sistema AVAC funciona apenas quando o edifício se encontra em horário de funcionamento, verificando-se, entre estes dois estudos, uma diminuição de consumo energético AVAC de 44.2%. Para a semana de inverno também foi realizado um estudo semelhante para o *heating setpoint* que revelou ter o menor consumo (17.9°C), em que se verificou uma diminuição de consumo por parte do sistema AVAC de 55.9%. Foi também realizado um estudo para verificar qual a tarifa que traduz os custos energéticos mais baixos e, tanto para a semana de verão como para a semana de inverno, caso o sistema AVAC funcione apenas durante o horário de abertura do edifício assim como para o *setpoint* que traduz os custos mais económicos, a escolha recai na *Tarifa Simples* em que em relação às tarifas Bi-horárias se consegue obter uma diminuição de custo até 14.9% para a semana de verão e até 19.6% para a semana de inverno.

Relativamente à escolha dos *setpoints* verificou-se que quanto maior for a diferença entre o *cooling setpoint* e o *heating setpoint*, estando estes dentro dos valores de conforto térmico, menores são os consumos energéticos obtidos. Durante o verão, como se verificam elevadas temperaturas exteriores, o *cooling setpoint* que traduz um menor valor de consumo energético assume o valor de 25°C, que é o valor limite superior de conforto térmico para esta altura do ano. Para o caso

de inverno verifica-se uma situação semelhante mas para o *heating setpoint* definido no valor mínimo possível que é 17.9°C. Caso o gestor do edifício queira alterar estes valores de *setpoints*, e obedecendo sempre às restrições de conforto térmico, sabe que essa opção o levará a consumos energéticos superiores, podendo no caso limite ocorrer uma variação de consumo energético do sistema AVAC que pode ir até um aumento de 260% (para *cooling setpoint* igual a 21.6°C) no caso de verão e um aumento de 132.1% (para *heating setpoint* igual a 22.5°C) no caso de inverno. Relativamente à escolha dos valores de *setpoints* pode-se concluir que é bastante importante ter conhecimento das alterações de consumo que a sua escolha implica pois uma pequena variação nos valores de *setpoints* pode levar a consumos excessivos sem que tal seja necessário.

No sentido de utilizar a inércia térmica do edifício para a redução da fatura energética foram realizadas várias simulações para verificar se, através da utilização da *Tarifa bi-horária opção diária*, em que a energia durante a noite é mais barata, é vantajoso proceder a uma estratégia de refrigerar o edifício durante a noite no verão. Do mesmo modo de pensamento, e para 1 dia de inverno, foram realizadas diversas simulações de forma a verificar se é mais económico aquecer o edifício no período em que a energia é mais barata. Tanto para o dia de verão como para o dia de inverno verificou-se que esta estratégia não traduz melhores resultados nos consumos energéticos pelo que a melhor solução é optar pela *Tarifa simples* sem optar por uma estratégia de aquecimento/refrigeração do edifício nas horas antes da abertura do edifício ao público.

Para o equipamento elétrico verificou-se um consumo de energia elétrica de 700.7 kWh tanto para a semana de verão como para a semana de inverno, pois têm iguais diagramas de carga para todas as semanas do ano. As variações das cargas do equipamento elétrico fazem oscilar os consumos do sistema AVAC. Tanto para a semana de verão como para a semana de inverno foram realizadas simulações em que todas as variáveis estavam definidas para os seus valores previstos mas em que os equipamentos elétricos estavam desligados. Com esta experiência verificou-se que o funcionamento previsto do equipamento elétrico faz aumentar o consumo AVAC em 49.4% na semana de verão e, por outro lado, faz diminuir o consumo AVAC em 15.82% na semana de inverno. Foram realizadas várias simulações para vários valores de carga em que, por exemplo, para +50% do valor de carga do equipamento elétrico obteve-se, em relação ao valor inicialmente previsto, um aumento de 20.1% do consumo por parte do sistema AVAC no verão e uma diminuição de 9.1% no inverno.

Com recurso ao *DIALux* foi determinada a potência do sistema de iluminação para o edifício em estudo. Dado este ser um sistema cujos valores de consumo não oscilam durante o período de funcionamento, devido à atividade específica a que se destina este edifício, não há necessidade de realizar simulações para verificar o impacto que as oscilações de consumo deste sistema podem ter no consumo AVAC. Contudo foi determinado o impacto que este sistema tem no consumo do sistema AVAC realizando simulações em que não se considera o sistema de iluminação ligado durante cada semana. O consumo total semanal do sistema de iluminação é de 533.45 kWh e o seu funcionamento previsto implica um aumento no consumo do sistema AVAC de 34% no verão e uma diminuição do consumo AVAC de 10.9% no inverno.

O número de ocupantes que se verifica no interior de um edifício de comércio nem sempre é

de fácil previsão. Vários fatores estão associados a esta previsão, em que os aspetos meteorológico assumem um papel fundamental. A presença de ocupantes no verão, e comparativamente a uma hipotética situação em que o edifício não está ocupado, faz com que o consumo do sistema AVAC aumente em 27.3% na semana de verão e diminua em 18.4% na semana de inverno. Foram também simulados vários cenários em que a taxa de ocupação foi sofrendo alterações em que, por um exemplo, um aumento de 50% no número de ocupantes faz com que ocorra um aumento de 15.7% do consumo do AVAC no verão e uma diminuição de 9.7% no inverno.

Muitos são os fatores que podem definir o consumo energético total de um edifício. Existem diversas variáveis que devido à sua imprevisibilidade fazem com que este trabalho possa ter um elevado número de simulações devido ao elevado número de combinações que se podem realizar para os diferentes valores que essas variáveis podem assumir. Contudo a previsão meteorológica para o horizonte temporal de uma semana poderá ser determinada e em redor dessas previsões é possível prever quais os consumos e custos energéticos do edifício para esse horizonte temporal tornando-se esta informação num importante auxílio na tomada de decisões.

5.3 Trabalho Futuro

Neste trabalho foram utilizadas diversas ferramentas informáticas para a obtenção da previsão de consumos energéticos em edifícios. A aprendizagem aprofundada dessas ferramentas requer bastante tempo e esforço, não sendo facilmente acessíveis a qualquer gestor de edifício. Após a modelização do edifício por um profissional da área, seria interessante que o gestor do edifício possuísse uma ferramenta única de simulação, com um ambiente gráfico intuitivo e que o fornecimento de dados em forma de tabelas e gráficos fossem de fácil acesso. O *OpenStudio* possui um interface gráfico que ainda tem de ser alvo de vários aperfeiçoamentos pois não possui forma de introduzir diretamente informação relativa a tarifas energéticas variáveis assim como não tem capacidade para exportar os resultados das simulações graficamente de forma a que várias variáveis possam ser analisadas simultaneamente no mesmo gráfico. Isto faz com que seja necessário recorrer ao *EnergyPlus* para que as tarifas possam ser adicionadas assim como é necessária a exportação dos ficheiros de saída para uma folha de cálculo, através de execuções sucessivas do ficheiro *ReadVarsEso.exe*, sendo necessário de seguida proceder a todo o tratamento de dados. Isto faz com que a obtenção de resultados de simulação seja um processo bastante moroso e pouco intuitivo para um gestor de edifício. Seria bastante interessante a criação de uma ferramenta com capacidade de obter periodicamente a informação de previsão meteorológica de forma automática e que de seguida procedesse à realização automática de simulações exportando os resultados diretamente para gráficos e tabelas de fácil entendimento para qualquer pessoa. Assim, e após o edifício estar devidamente modelizado, seria possível alterar as parametrizações de diversas variáveis, como o número de ocupantes ou os *setpoints* do sistema AVAC, de forma a criar resultados de previsão de consumos e custos energéticos de uma maneira prática e intuitiva. Também seria interessante que esta ferramenta fosse facilmente ligada ao sistema AVAC de forma a que este sistema assumisse os *setpoints* que revelassem o consumo mais eficiente. No caso em que estas simulações

sejam realizadas num edifício já edificado seria de enorme utilidade que esta ferramenta tivesse também capacidade de registar os valores reais das mais diversas variáveis de forma a utilizar essa informação para as simulações de previsão seguintes.

Anexo A

Tarifas

As tarifas elétricas utilizadas neste projeto correspondem à *Tarifa Simples*, *Tarifa Bi-Horária Opção de Ciclo Semanal* e *Tarifa Bi-Horária Opção de Ciclo Diário* da EDP Negócios. [30]. Aos valores indicados, acresce IVA à taxa legal em vigor.

A.1 Tarifa - Horário de verão

Tabela A.1: Tarifa 2^a a 6^a feira - Horário de verão (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.1983
8	9	0.1608	0.1983	0.1983
9	10	0.1608	0.1983	0.1983
10	11	0.1608	0.1983	0.1983
11	12	0.1608	0.1983	0.1983
12	13	0.1608	0.1983	0.1983
13	14	0.1608	0.1983	0.1983
14	15	0.1608	0.1983	0.1983
15	16	0.1608	0.1983	0.1983
16	17	0.1608	0.1983	0.1983
17	18	0.1608	0.1983	0.1983
18	19	0.1608	0.1983	0.1983
19	20	0.1608	0.1983	0.1983
20	21	0.1608	0.1983	0.1983
21	22	0.1608	0.1983	0.1983
22	23	0.1608	0.0926	0.1983
23	24	0.1608	0.0926	0.1983

Tabela A.2: Tarifa - Sábado - Horário de verão (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.0926
8	9	0.1608	0.1983	0.0926
9	10	0.1608	0.1983	0.1983
10	11	0.1608	0.1983	0.1983
11	12	0.1608	0.1983	0.1983
12	13	0.1608	0.1983	0.1983
13	14	0.1608	0.1983	0.1983
14	15	0.1608	0.1983	0.0926
15	16	0.1608	0.1983	0.0926
16	17	0.1608	0.1983	0.0926
17	18	0.1608	0.1983	0.0926
18	19	0.1608	0.1983	0.0926
19	20	0.1608	0.1983	0.0926
20	21	0.1608	0.1983	0.1983
21	22	0.1608	0.1983	0.1983
22	23	0.1608	0.0926	0.0926
23	24	0.1608	0.0926	0.0926

Tabela A.3: Tarifa - Domingo - Horário de verão (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.0926
8	9	0.1608	0.1983	0.0926
9	10	0.1608	0.1983	0.0926
10	11	0.1608	0.1983	0.0926
11	12	0.1608	0.1983	0.0926
12	13	0.1608	0.1983	0.0926
13	14	0.1608	0.1983	0.0926
14	15	0.1608	0.1983	0.0926
15	16	0.1608	0.1983	0.0926
16	17	0.1608	0.1983	0.0926
17	18	0.1608	0.1983	0.0926
18	19	0.1608	0.1983	0.0926
19	20	0.1608	0.1983	0.0926
20	21	0.1608	0.1983	0.0926
21	22	0.1608	0.1983	0.0926
22	23	0.1608	0.0926	0.0926
23	24	0.1608	0.0926	0.0926

A.2 Tarifa - Horário de inverno

Tabela A.4: Tarifa - 2ª a 6ª - Horário de inverno (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.1983
8	9	0.1608	0.1983	0.1983
9	10	0.1608	0.1983	0.1983
10	11	0.1608	0.1983	0.1983
11	12	0.1608	0.1983	0.1983
12	13	0.1608	0.1983	0.1983
13	14	0.1608	0.1983	0.1983
14	15	0.1608	0.1983	0.1983
15	16	0.1608	0.1983	0.1983
16	17	0.1608	0.1983	0.1983
17	18	0.1608	0.1983	0.1983
18	19	0.1608	0.1983	0.1983
19	20	0.1608	0.1983	0.1983
20	21	0.1608	0.1983	0.1983
21	22	0.1608	0.1983	0.1983
22	23	0.1608	0.0926	0.1983
23	24	0.1608	0.0926	0.1983

Tabela A.5: Tarifa - Sábado - Horário de inverno (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.0926
8	9	0.1608	0.1983	0.0926
9	10	0.1608	0.1983	0.14545
10	11	0.1608	0.1983	0.1983
11	12	0.1608	0.1983	0.1983
12	13	0.1608	0.1983	0.1983
13	14	0.1608	0.1983	0.0926
14	15	0.1608	0.1983	0.0926
15	16	0.1608	0.1983	0.0926
16	17	0.1608	0.1983	0.0926
17	18	0.1608	0.1983	0.0926
18	19	0.1608	0.1983	0.14545
19	20	0.1608	0.1983	0.1983
20	21	0.1608	0.1983	0.1983
21	22	0.1608	0.1983	0.1983
22	23	0.1608	0.0926	0.0926
23	24	0.1608	0.0926	0.0926

Tabela A.6: Tarifa - Domingo - Horário de inverno (€/kWh)

Hora de início	Hora final	Tarifa simples	Bi-horário, ciclo diário	Bi-horário, opção ciclo semanal
0	1	0.1608	0.0926	0.0926
1	2	0.1608	0.0926	0.0926
2	3	0.1608	0.0926	0.0926
3	4	0.1608	0.0926	0.0926
4	5	0.1608	0.0926	0.0926
5	6	0.1608	0.0926	0.0926
6	7	0.1608	0.0926	0.0926
7	8	0.1608	0.0926	0.0926
8	9	0.1608	0.1983	0.0926
9	10	0.1608	0.1983	0.0926
10	11	0.1608	0.1983	0.0926
11	12	0.1608	0.1983	0.0926
12	13	0.1608	0.1983	0.0926
13	14	0.1608	0.1983	0.0926
14	15	0.1608	0.1983	0.0926
15	16	0.1608	0.1983	0.0926
16	17	0.1608	0.1983	0.0926
17	18	0.1608	0.1983	0.0926
18	19	0.1608	0.1983	0.0926
19	20	0.1608	0.1983	0.0926
20	21	0.1608	0.1983	0.0926
21	22	0.1608	0.1983	0.0926
22	23	0.1608	0.0926	0.0926
23	24	0.1608	0.0926	0.0926

Anexo B

Iluminação

Projecto 3

Editor(a)

Telefone

Fax

e-Mail

DIALux

05.06.2016

Climar, SA 33.91.000.08.06 ATE LED 69W 4000K 140x1574mm HF / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:

É favor escolher uma imagem de luminária em nosso catálogo de luminárias.

Classificação de luminárias conforme CIE: 92

Código de Fluxo (CIE): 45 73 90 92 100

Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR													
		70	70	50	50	30	30	70	70	50	50	30	
ρ Tecto		50	30	50	30	30	50	50	30	50	30	30	
ρ Paredes		50	30	50	30	30	50	50	30	50	30	30	
ρ Solo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamanho da sala X Y		Direção transversal do eixo em relação ao eixo da lâmpada						Direção longitudinal do eixo em relação ao eixo da lâmpada					
2H	2H	20.0	21.2	20.4	21.6	22.0	17.8	18.1	18.3	19.5	19.9	19.9	
3H	3H	22.4	23.6	22.9	24.0	24.4	18.8	19.9	19.2	20.3	20.8	20.8	
4H	4H	23.7	24.8	24.2	25.2	25.7	19.0	20.1	19.5	20.5	21.0	21.0	
6H	6H	25.1	26.1	25.5	26.5	27.0	19.1	20.1	19.6	20.6	21.1	21.1	
8H	8H	25.8	26.8	26.3	27.2	27.7	19.1	20.1	19.6	20.6	21.1	21.1	
12H	12H	26.6	27.5	27.1	28.0	28.5	19.1	20.0	19.6	20.5	21.0	21.0	
4H	2H	20.5	21.6	20.9	22.0	22.5	18.9	19.9	19.3	20.4	20.8	20.8	
3H	3H	23.2	24.1	23.7	24.6	25.1	20.1	21.0	20.6	21.5	22.0	22.0	
4H	4H	24.7	25.6	25.2	26.0	26.6	20.5	21.4	21.0	21.9	22.4	22.4	
6H	6H	26.3	27.1	26.9	27.6	28.2	20.9	21.5	21.2	22.0	22.6	22.6	
8H	8H	27.2	27.9	27.8	28.4	29.0	20.9	21.5	21.4	22.0	22.6	22.6	
12H	12H	28.2	28.8	28.7	29.3	30.0	20.8	21.5	21.4	22.0	22.6	22.6	
4H	4H	25.0	25.7	25.6	26.2	26.8	21.6	22.3	22.2	22.9	23.4	23.4	
6H	6H	26.9	27.5	27.5	28.1	28.7	22.3	22.8	22.9	23.4	24.0	24.0	
8H	8H	28.0	28.5	28.6	29.1	29.7	22.5	23.0	23.1	23.6	24.2	24.2	
12H	12H	29.2	29.7	29.8	30.3	31.0	22.6	23.1	23.2	23.7	24.3	24.3	
4H	4H	25.0	25.7	25.6	26.2	26.8	22.0	22.6	22.6	23.2	23.8	23.8	
6H	6H	27.0	27.5	27.6	28.1	28.8	22.9	23.4	23.5	24.0	24.6	24.6	
8H	8H	28.2	28.6	28.8	29.2	29.9	23.3	23.7	23.9	24.3	25.0	25.0	

Variação da posição do observador para as distâncias da luminária S

S = 1.0H	+0.1 / -0.1	+0.1 / -0.1
S = 1.5H	+0.3 / -0.3	+0.2 / -0.3
S = 2.0H	+0.4 / -0.5	+0.5 / -0.6

Tabul padrão	BK12	BK14
Adicional de correção	12.8	6.1

Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 6138lm Corrente luminosa total

Figura B.1: Resultados DIALux 1

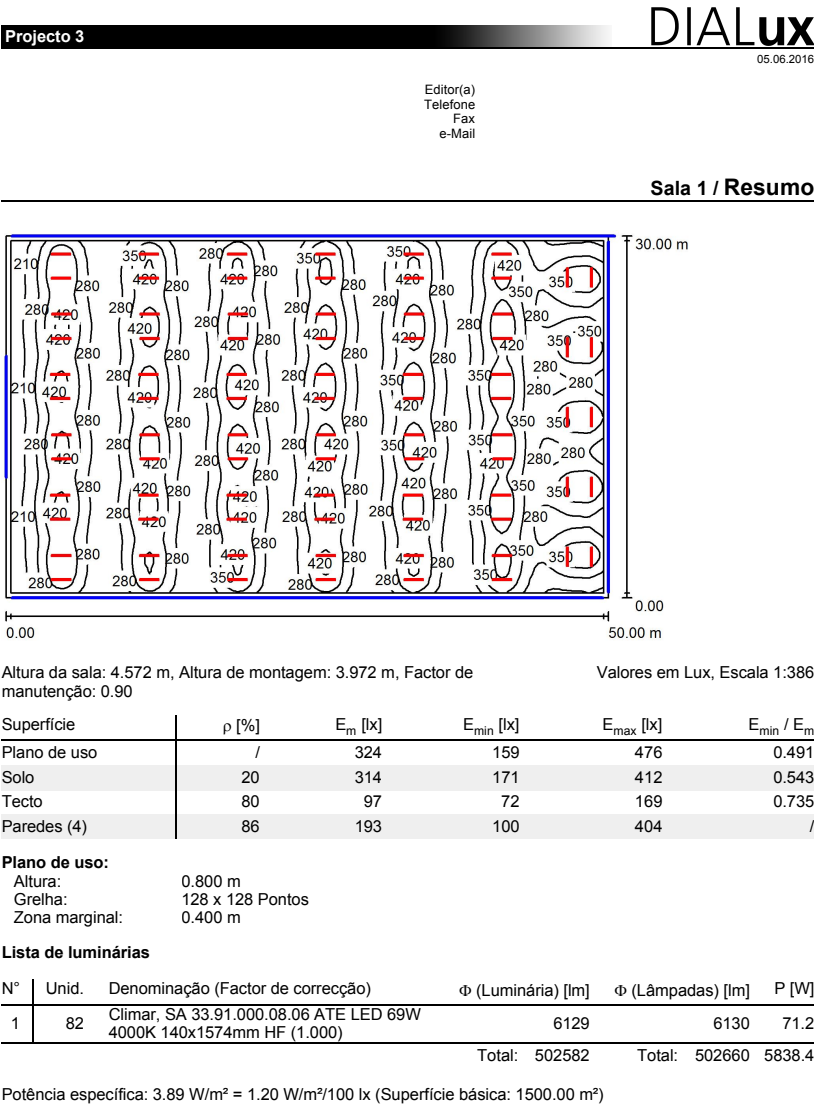


Figura B.2: Resultados DIALux 2

Projecto 3

DIALux

05.06.2016

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Sala 1 / Lista de luminárias

82 Unid. Climar, SA 33.91.000.08.06 ATE LED 69W
4000K 140x1574mm HF
Nº do artigo: 33.91.000.08.06
Corrente luminosa (Luminária): 6129 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas): 6130 lm
Potência luminosa: 71.2 W
Classificação de luminárias conforme CIE: 92
Código de Fluxo (CIE): 45 73 90 92 100
Lâmpada (s): 1 x 33.91.000.08.06 (Factor de
correção 1.000).

É favor escolher uma
imagem de luminária em
nosso catálogo de
luminárias.

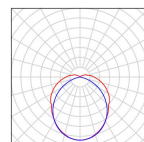


Figura B.3: Resultados DIALux 3

Referências

- [1] Enerdata. Global Energy Statistical Yearbook 2016. URL: <https://yearbook.enerdata.net/energy-consumption-data.html>.
- [2] United States Department of Energy. Getting Started. URL: <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel{ }custom/pdfs/pdfs{ }v8.5.0/GettingStarted.pdf>.
- [3] United States Department of Energy. EnergyPlus - Extras. URL: <https://energyplus.net/extras>.
- [4] Yi Zhang; Ivan Korolija. Jeplus Chapter2. The GUI, 2015. URL: <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=docs:manual{ }1{ }6{ }gui>.
- [5] DesignBuilder. Edit Screen. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv1/Content/{ }Edit{ }screen.htm>.
- [6] União Europeia. Jornal Oficial. 2012.
- [7] United States Department of Energy. EnergyPlus. URL: <https://energyplus.net/>.
- [8] United States Department of Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software. URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- [9] NREL. What is EnergyPlus. URL: <http://nrel.github.io/EnergyPlus/GettingStarted/GettingStarted/{#}what-is-energyplus>.
- [10] Yi Zhang; Ivan Korolija. jEplus, 2016. URL: <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=start>.
- [11] IBPSA-USA. JEPlus, 2015. URL: <http://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/jeplus>.
- [12] NREL. OpenStudio. URL: <https://www.openstudio.net/>.
- [13] NREL. Open Studio - Current Features. URL: <http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/getting{ }started/features/>.
- [14] Design Builder. DesignBuilder software, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/>.
- [15] DesignBuilder. DesignBuilder - overview. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/software/product-overview>.

- [16] DesignBuilder. DesignBuilder Modeller. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/modeller/>.
- [17] DesignBuilder. DesignBuilder Visualization, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/visualisation/>.
- [18] DesignBuilder. DesignBuilder Certification, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/certification/>.
- [19] DesignBuilder. DesignBuilder Simulation, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/simulation/>.
- [20] DesignBuilder. DesignBuilder Daylighting, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/daylighting/>.
- [21] DesignBuilder. DesignBuilder HVAC, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/hvac/>.
- [22] DesignBuilder. DesignBuilder Cost, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/cost/>.
- [23] DesignBuilder. DesignBuilder LEED, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/leed/>.
- [24] Design Builder. DesignBuilder Optimization, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/optimisation/>.
- [25] DesignBuilder. DesignBuilder CFD, 2016. URL: <http://www.designbuilder.co.uk/cfd/>.
- [26] EnergyPlus. Input Output Reference. *Bigladder Software*, (c):2109, 2015. URL: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/input-output-reference/index.html>.
- [27] ASHRAE. Nonresidencial cooling and heating - Handbook of Fundamentals. 2013.
- [28] UE. EN12464-1 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1 : Indoor work. páginas 1-43, 2002.
- [29] Steinfeld Kyle Hoyt Tyler, Schiavon Stefano, Piccioli Alberto, Moon Dustin. CBE Thermal Comfort Tool, 2013. URL: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.
- [30] EDP. EDP - Tarifa, 2016. URL: <https://energia.edp.pt/negocios/apoio-cliente/opcao-horaria/>.