



Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Mecânica
Mestrado em Energia para a Sustentabilidade

Simulação energética: estudo de um edifício escolar

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica na
Especialidade de Climatização e Conforto

Autor:

Nuno Filipe Vaz Correia

Orientador:

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Co-Orientador:

Professor Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva

Júri

Presidente: Professor Doutor António Manuel de Oliveira Gomes Martins

Vogais: Professor Doutor José Joaquim da Costa

Fevereiro, 2014

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão e à minha namorada por tudo o que eles significam para mim.

“ Sejam quais forem os resultados com êxito ou não, o importante é que no final cada um possa dizer: fiz o que pude ”

Louis Pasteur

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível de concretizar sem a colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar os meus sinceros agradecimentos.

Quero agradecer por todo o apoio recebido ao Professor Doutor Adélio Gaspar, pela disponibilidade mostrada para orientar este trabalho, por todos os conhecimentos transmitidos e pelas correcções efectuadas ao longo de todo o trabalho.

Ao Professor Doutor Manuel Gameiro da Silva, pelo apoio que demonstrou sempre que solicitado.

Ao Eng.º Francisco Lamas pela disponibilidade revelada, mesmo quando não a tinha, e pelo auxílio com o programa DesignBuilder.

Ao Eng.º Marco Fernandes pelas dicas, pelo apoio e pela ajuda demonstrada nas situações mais complicadas.

À Arq.^a Luísa Dias por toda a informação fornecida e pelo apoio prestado durante o trabalho.

À Eng.^a Catarina Abrantes por todas as dicas com o programa DesignBuilder.

Ao Eng.º Gonçalo Brites por todo o apoio prestado durante as simulações energéticas.

Ao Eng.º Hermano pela informação cedida relativamente às auditorias energéticas.

E um agradecimento especial à minha família e à minha namorada pelo apoio incondicional e pela confiança que sempre depositaram em mim.

A todos, o meu sincero obrigado.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra e apoiada pelo Projeto Energy and Mobility for Sustainable Regions (CENTRO-07-0224-FEDER-002004) e pelo Projecto Eficiência Energética nas Escolas (3Es).

Resumo

Nesta dissertação são analisadas e definidas estratégias para otimizar os consumos de energia de um edifício escolar, mantendo ou melhorando sempre que possível as condições do ambiente interior. Como caso de estudo foi utilizado um edifício recentemente alvo de reestruturação (ao abrigo do programa Parque Escolar), em cuja solução construtiva há uma área de envidraçados significativa. O nível de conforto térmico e de qualidade do ar interior (QAI) no interior das salas de aula não é sempre o desejado, apresentando consumos de energia eléctrica elevados, associados à iluminação, aos equipamentos e ao sistema de climatização.

O estudo foi efectuado com base num programa de simulação dinâmica de edifícios, o EnergyPlus. Através da interface gráfica DesignBuilder foi possível definir o modelo geométrico do edifício e o respectivo zonamento, assim como os parâmetros relativos aos vários tipos de construção das envolventes, envidraçados, densidades e perfis de ocupação, iluminação e equipamentos.

Foram analisadas várias medidas de eficiência energética, tais como, a implementação de novos caudais de ar novo segundo a Portaria n.º 353-A/2013 do novo Regulamento de Sistemas de Certificação Energética (SCE), a aplicação de sensores de regulação de luminosidade para controlo do sistema de iluminação dos espaços e a aplicação de dispositivos de sombreamento nos envidraçados do quadrante sul.

Das várias medidas de eficiência energética aplicadas, conclui-se que a alteração dos caudais de ar de acordo com o novo regulamento e a aplicação de sensores de regulação da iluminação nas salas de aula são as medidas que têm um maior impacto na redução dos consumos. Com a alteração dos caudais obtém-se uma redução no consumo até 12%, com a aplicação de sensores de regulação consegue-se uma redução de 5% no consumo total anual de energia do edifício.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Qualidade do Ar Interior, Sustentabilidade, AVAC, Simulação energética de edifícios, Edifícios escolares.

Abstract

In this work strategies are analysed and defined to optimize the energy consumption of a school, keeping or improving as much as possible the indoor environment conditions. A recently refurbished school building (in the framework of Parque Escolar program), has been used as case study. It is, constituted by a significant glazed area, and the thermal comfort and the indoor air quality (IAQ) in the classrooms are not always the best, presenting high electric energy consumption, associated with lighting, equipment and air-conditioning system.

The study was based on a building dynamic simulation program, EnergyPlus. Through the graphical interface DesignBuilder it was possible to define the geometric building model and its respective zoning, as well as the introduction of parameters about types of the envelope, glazed areas, density and occupation profiles, lighting and equipment.

Some energy efficiency measures were analysed, such as, the implementation of new fresh air flow rate according to the Decree n.º 353-A/2013 of the new Regulation Sistemas de Certificação Energética (SCE), the application of illuminance sensors for lighting control (dimming system) and the application of shading devices on the south façade glazed areas.

Of the several energy efficiency measures simulated, we can conclude that change of fresh air flow rate according to the new Regulation and the application of illuminance sensors for lighting control of the classrooms are the measures which have a higher impact on the consumption reduction. With the application of regulation sensors we can save up to 5% reduction of the total annual energy consumption of the building and with the change of flows we get a consumption reduction until 12%.

Key-words: energetic efficiency, indoor air quality, sustainability, HVAC, energetic simulation on buildings, schools.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Índice de Gráficos	ix
Siglas.....	x
Capítulo I - Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objectivos.....	3
1.3. Organização e Estrutura	3
Capitulo II - Estado da Arte	5
2.1 Qualidade do Ambiente Interior.....	5
2.1.1 Conforto Térmico.....	5
2.1.2 Qualidade do Ar Interior	6
2.2 Sistemas de AVAC.....	7
2.3 Eficiência Energética.....	8
2.4 Metodologia de Classificação Energética	10
2.5 Programa de simulação	11
Capítulo III - Caso de Estudo: Caracterização do edifício e modelo de simulação	13
3.1. Descrição do edifício.....	13
3.2. Características Arquitectónicas	16
3.3. Soluções construtivas	17
3.3.1. Elementos opacos.....	17
3.3.2. Envidraçados	20
3.3.3. Sombreamentos	21
3.4. Sistema de Climatização	22
3.5. Ventilação.....	23
3.6. Tipologia de utilização	23
3.7. Modelo do edifício	24
3.7.1. Zonamento.....	24
3.7.2. Geometria e envolvente.....	25

3.8.	Perfis de Utilização	26
3.8.1.	Ocupação.....	26
3.8.2.	Iluminação.....	28
3.8.3.	Equipamentos Eléctricos	29
3.8.4.	Ventilação.....	30
3.8.5.	Infiltrações.....	32
3.9.	Dados Meteorológicos.....	33
Capítulo IV – Resultados e Discussão		35
4.1	Resultados do edifício actual.....	35
4.2	Medidas de Racionalização Energética.....	37
4.2.1	Medida de Melhoria A – <i>Daylighting</i>	38
4.2.2	Medida de Melhoria B – Sombreamento dos envidraçados do quadrante Sul.....	38
4.2.3	Medida de Melhoria C – Implementação de novos caudais conforme nova regulamentação	39
4.2.4	Medidas de Melhoria D – Incorporação de todas as medidas de melhoria estudadas.....	40
4.3	Análise e Discussão de Resultados	40
4.3.1	Medida de Melhoria A - <i>Daylighting</i>	40
4.3.2	Medida de Melhoria B – Dispositivos de Sombreamento.....	41
4.3.3	Medida de Melhoria C – Alteração de caudais	43
4.3.4	Medida de Melhoria D – Incorporação das medidas A e C	45
4.3.5	Classificação Energética	45
Capítulo V - Conclusões		47
Referências.....		49
ANEXOS.....		51

Índice de Figuras

Figura 1 – Implantação do edifício escolar	14
Figura 2 – Alçado Nascente	17
Figura 3 – Alçado Sul	17
Figura 4 – Planta Piso 0	18
Figura 5 – Planta Piso 1	19

Figura 6 – Corte representativo do Bloco S	19
Figura 7 – Corte representativo do Bloco A2.....	19
Figura 8 – Corte representativo do Bloco A3.....	20
Figura 9 – Corte representativo do Bloco A1.....	20
Figura 10 – Edifícios responsáveis por possíveis sombreamentos: 1 – biblioteca, 2 – ginásio. .	22
Figura 11 – Block 3 – Blocos A1, A2, A3 e S piso 1.....	26
Figura 12 – Edifício escolar completo	26

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Áreas úteis do edifício escolar.....	16
Tabela 2 – Tipos de construções interiores	18
Tabela 3 – Características dos envidraçados	21
Tabela 4 – Características do V.R.V	22
Tabela 5 – Características das Unidades Recuperadoras de Calor.....	23
Tabela 6 – Densidade de Ocupação das diferentes zonas	27
Tabela 7 – Densidade de Iluminação	29
Tabela 8 – Densidade de carga térmica de Equipamentos	30
Tabela 9 – Consumo Ventiladores de Extracção das Instalações Sanitárias.....	31
Tabela 10 – Caudais de Insuflação e Extracção	31
Tabela 11 – Consumos dos Ventiladores de Insuflação e Extracção	32

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Perfil de ocupação da zona 1 (sala de E.V. e E.V.T.)	28
Gráfico 2 – Perfil de ocupação do Secretariado da Direcção (zona administrativa).....	28
Gráfico 3 – Infiltrações no Edifício.....	33
Gráfico 4 – Comparação dos consumos mensais Reais e do Modelo em kWh.....	36
Gráfico 5 – Desagregação dos consumos eléctricos anuais do Modelo em kWh	36
Gráfico 6 – Perfil de ocupação tipo: salas de aula	39
Gráfico 7 – Perfil de ocupação tipo: serviços administrativos	40
Gráfico 8 – Medida de melhoria com a opção Daylight	41
Gráfico 9 – Simulações com implementação de dispositivos de sombreamento, louvres	43

Gráfico 10 – Diferença de caudais	44
Gráfico 11 - Resultados com a implementação dos novos caudais de ar novo	44
Gráfico 12 – Incorporação da Medida A e C (método analítico)	45

Siglas

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

QAI – Qualidade do Ar Interior

SCE – Sistema de Certificação de Edifícios

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers*

REHVA – *Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

IEE – Indicador de Eficiência Energética

COP – *Coefficient of Performance*

EER – *Energy Efficiency Ratio*

URC – Unidade Recuperadora de Calor

VRV – Volume de Refrigerante Variável

Capítulo I - Introdução

1.1. Motivação

A actual sociedade de consumo precisa de manter o seu padrão de vida e conforto e isso traduz-se no uso intensivo de energia. Actualmente, o desafio é a busca de um desenvolvimento sustentável, mantendo os níveis de transformação, a actividade e o progresso, reajustando os recursos existentes de forma a evitar o desperdício de energia. O desempenho energético dos edifícios é um ponto fulcral para uma estratégia de desenvolvimento sustentável, pois estes representam uma grande fatia do consumo de energia (40%) (Directiva Europeia 2002/91/EC).

A avaliação do desempenho dos edifícios é um processo que implica ainda um considerável grau de dificuldade, pois um edifício é um sistema complexo, em que cada subsistema tem um papel importante no desempenho energético global. Adicionalmente existem efeitos cruzados entre os vários subsistemas que podem ser relevantes.

Ao fazer-se a simulação energética de um edifício tem-se como objectivo a determinação de todos os consumos de energia que lhe estão associados (climatização, iluminação, equipamentos, etc.), durante um determinado período. É possível calcular os valores dos consumos, recorrendo a equações que descrevem as perdas e ganhos térmicos num edifício, nos processos de climatização. Esta metodologia apresenta inconvenientes de ser muito demorada, devido à elevada quantidade de cálculos necessários. Pode também acontecer que lhe esteja associada alguma incerteza, porque o cálculo é feito com recurso a métodos simplificados que não alcançam o rigor de um cálculo dinâmico efectuado por um programa de simulação.

Ao utilizar um *software* de simulação energética, quando se procede à simulação dos fluxos de energia num edifício é necessário construir um modelo representativo da realidade. Em primeiro lugar, é construído um modelo tridimensional do edifício no qual se introduzem todas as dimensões relevantes. Numa fase posterior, torna-se necessário incluir todos os elementos que condicionam termicamente o edifício. Entre esses elementos encontram-se:

- **Localização:** determina os factores climatéricos a que o edifício fica sujeito, influenciando assim as necessidades de aquecimento e de arrefecimento.
- **Orientação:** determina os ganhos de radiação solar ao longo do tempo.

- **Ocupação:** o número de pessoas presentes no edifício, uma vez que a actividade metabólica de cada um produz uma determinada quantidade de energia.
- **Iluminação:** o tipo de sistema de iluminação utilizado e a sua eficiência traduzem-se numa determinada carga térmica no interior dos espaços.
- **Envolvente opaca:** a espessura das paredes e a condutibilidade térmica dos materiais utilizados determinam a qualidade da envolvente.
- **Envidraçados:** permitem a entrada de radiação solar no edifício. Podem ser colocados vidros duplos para minimizar as trocas de calor com o exterior, bem como a utilização de caixilharias com corte térmico.
- **Aberturas para o exterior:** é necessário fazer um bom isolamento dos vários pontos de contacto com o exterior, nomeadamente portas e janelas, não descuidando a frequência com que se abrem e fecham.
- **Equipamentos:** os equipamentos consomem energia e ao mesmo tempo libertam uma determinada quantidade de calor.

De uma forma bastante resumida estes são os principais factores que não devem ser descurados aquando da elaboração de uma simulação energética de um edifício.

Nos últimos anos, verificou-se uma requalificação das escolas geridas pela Parque Escolar. Este processo foi feito, tendo em consideração os padrões de conforto e qualidade do ar interior, e baseou-se na instalação de novos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). A utilização destes sistemas resulta num aumento dos consumos de energia, de modo que a gestão das escolas deverá ser feita atendendo ao equilíbrio entre a eficiência energética e garantia de qualidade do ambiente interior.

Os edifícios escolares relativamente recentes, incluindo a escola em estudo, são providos de um sistema de AVAC para proporcionar conforto térmico aos alunos, mas também para garantir uma boa qualidade do ambiente interior. Esta é conseguida através da ventilação e da filtragem de ar asseguradas pelas unidades de tratamento de ar. A ventilação, por sua vez, é também um factor com elevada influência nos consumos dos sistemas de AVAC, pelo que a sua compreensão e a optimização das estratégias de utilização implementadas são fundamentais para a eficiência do edifício.

Neste âmbito, os programas de simulação dinâmica de edifícios são ferramentas essenciais para a realização de estudos de optimização.

1.2. Objectivos

O objectivo deste trabalho é a simulação térmica de um edifício escolar situado em Montemor-o-Velho, de forma a avaliar as suas condições de referência (consumos, temperaturas, cargas térmicas, entre outros) e permitir testar diferentes cenários de utilização (*e.g.*, alteração de horários, *setpoints*, iluminação, ventilação, etc.) com vista à optimização do consumo energético.

O *software* utilizado para este efeito será o programa de simulação EnergyPlus. Através do DesignBuilder é possível definir facilmente o modelo geométrico do edifício e o respectivo zonamento, assim como introduzir sub-superfícies e diversas características do edifício.

O estudo a realizar irá definir estratégias que permitam a diminuição dos consumos de energia do edifício, por forma a optimizar o seu nível de eficiência energética, mas tendo sempre em consideração as condições do ambiente interior. A realização deste estudo irá envolver as seguintes etapas:

- Avaliação/estudo do edifício e dos sistemas;
- Implementação do edifício escolar no *software* DesignBuilder e definição das condições de projecto como cenário base;
- Afinação do modelo, tendo por base os consumos de energia eléctrica reais;
- Definição das estratégias de eficiência energética a aplicar e respectiva simulação;
- Análise crítica dos resultados obtidos nas várias simulações efectuadas.

1.3. Organização e Estrutura

A dissertação encontra-se dividida pelos seguintes capítulos:

Capítulo I: Introdução – Motivação, enquadramento do caso de estudo e os objectivos do trabalho;

Capítulo II: Estado da Arte – São descritos os princípios básicos relativos ao tema e os conceitos que serão abordados ao longo da dissertação;

Capítulo III: Caso de Estudo: Caracterização do edifício e modelo de simulação –

Neste capítulo é descrito o edifício escolar em estudo, a sua localização, identificação dos tipos da envolvente, identificação dos espaços e características arquitectónicas e de construção. É feita também uma descrição do modelo base, ou seja, como foi criado o modelo no programa de simulação, o zonamento, o tipo de construções utilizados, os perfis de utilização e toda a informação necessária para a sua construção;

Capítulo IV: Resultados e Discussão –

Destina-se à apresentação das medidas de melhoria e dos resultados das simulações efectuadas, incluindo uma análise dos mesmos;

Capítulo V: Conclusões –

O capítulo 5 é o último capítulo da dissertação e contém as conclusões principais de todo o estudo efectuado.

Capítulo II - Estado da Arte

Uma vez que o objectivo deste trabalho se enquadra na qualidade do ambiente interior, eficiência energética e sistemas de climatização, neste capítulo é feita uma breve descrição destes temas.

2.1 Qualidade do Ambiente Interior

Para rentabilizar ao máximo o desempenho individual de um ser humano, todos os factores envolventes têm um papel importante. Deste modo, é importante garantir um ambiente interior confortável (ambiente esse que interfere nos consumos energéticos), desenvolvendo para isso edifícios que respeitem determinados factores, como a construção do edifício, o ambiente envolvente (condições exteriores), as infra-estruturas internas e a utilização dos equipamentos instalados no edifício (Alfano *et al.*, 2010).

2.1.1 Conforto Térmico

Segundo a norma ASHRAE 55 (2013), o conforto térmico entende-se como o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação relativamente ao ambiente térmico que o rodeia. Note-se que o equilíbrio térmico não deve ser confundido com conforto térmico, uma vez que o equilíbrio térmico pode ser atingido sob condições de desconforto.

Os sistemas de termorregulação do organismo, em que actuação normal é a regulação do calibre dos vasos sanguíneos periféricos (vasodilatação/vasoconstrição) e as actuações de recurso são os tremores e a transpiração, permitem que o corpo humano mantenha, em ambientes confortáveis e em condições normais, uma situação de balanço térmico. A temperatura interna do corpo humano é normalmente de 37 °C, podendo suportar uma variação da temperatura externa até um máximo de 45 °C e um mínimo que depende da zona corporal (Alfano *et al.*, 2010). Por conseguinte, o corpo humano produz e troca energia sob a forma de calor com o exterior através de fenómenos de radiação, respiração, convecção e evaporação.

A temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar, a humidade relativa e os factores fisiológicos inerentes ao indivíduo, como o nível de

actividade física e o isolamento térmico do vestuário, são os parâmetros que influenciam o conforto térmico no interior de um edifício.

Relativamente aos edifícios escolares, cujo estudo é o objectivo deste projecto, o conforto térmico é, senão o factor mais importante, um dos mais importantes para o bem-estar dos alunos, dos professores e dos funcionários. Por vezes pequenas alterações na temperatura ambiente, mesmo que estas não saiam da zona de conforto, podem afectar a capacidade cognitiva dos alunos (REHVA, 2010).

É recomendado que os sistemas de controlo de temperatura mantenham uma temperatura do ar interior de 20°C no Inverno e 25°C e 50% de humidade relativa (HR) no Verão (RCCTE, 2006).

2.1.2 Qualidade do Ar Interior

A importância da avaliação e controlo da qualidade do ar interior em edifícios tem crescido ao longo do tempo, uma vez que hoje em dia as pessoas passam cada vez mais tempo em espaços interiores (habitações, edifícios de serviços, lazer), ficando, de uma forma geral, expostas à acção de poluentes gerados pelos próprios ocupantes, pelos materiais usados na construção do edifício, pelos sistemas de AVAC, e também provenientes do ar exterior.

Assim, uma qualidade do ar interior minimamente aceitável é definida como o ar onde não existem contaminantes em concentrações significativas, e onde a maioria dos ocupantes não expressa qualquer insatisfação (ASHRAE 62, 2013).

No caso dos edifícios escolares, a taxa de ocupação é elevada e os seus utilizadores são essencialmente crianças/jovens em fase de desenvolvimento, sendo assim bastante sensíveis a ambientes de fraca qualidade, razão pela qual esta temática deve ser uma prioridade neste tipo de edifícios.

Os sistemas de AVAC têm como objectivo, além de proporcionar um nível de conforto térmico apropriado, garantir uma qualidade do ar interior adequada, permitindo garantir condições ambientais saudáveis e confortáveis para os utilizadores do edifício. No subcapítulo seguinte serão abordados de uma forma mais pormenorizada os requisitos para instalação de sistemas de AVAC em edifícios escolares.

Existem duas formas de estabelecer os critérios de qualidade do ar interior: fixação das taxas de ventilação que garantam o caudal de ar novo necessário para a diminuição dos poluentes presentes no interior dos espaços; e fixação dos valores limite

máximos que podem ser atingidos pelas concentrações dos poluentes (Alfano *et al.*, 2010).

Nos edifícios portugueses, as concentrações máximas de poluentes permitidas no interior dos espaços encontram-se tabeladas no RSECE (2006). Segundo a Portaria n.º 353-A/2013 do novo regulamento de Qualidade do Ar Interior (SCE, 2013), os métodos para estabelecer os valores mínimos de caudais de ar novo por espaço tiveram alterações consideráveis.

Um dos métodos de cálculo, o método prescritivo, baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido:

- Aos ocupantes do espaço e em função do tipo de actividade física (actividade metabólica) aí desenvolvida;
- Ao próprio edifício e em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário.

Outro método relevante, o método analítico, traduz a aplicação da evolução temporal da concentração de dióxido de carbono (CO₂) previsível no espaço, em função do respectivo perfil de ocupação, perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes (Portaria n.º353-A/2013), ou seja, é calculado através da área útil do espaço, do perfil de ocupação e do número máximo de pessoas e do limiar de protecção de CO₂ (1250 ppm para a generalidade dos espaços), obtendo-se como resultado o caudal de ar novo necessário para insuflar nesse mesmo espaço.

Estes dois métodos serão aplicados no edifício em estudo na tentativa de racionalizar a energia consumida pelo sistema de climatização e ventilação.

2.2 Sistemas de AVAC

O objectivo dos sistemas de AVAC é propiciar condições de conforto térmico aos ocupantes, promovendo uma gama de temperaturas adequadas aos espaços a climatizar, e uma boa qualidade do ar interior através de ventilação e filtragem adequadas (Alfano *et al.*,2010). O dimensionamento de um sistema de AVAC é feito consoante os espaços (área) e/ou o número de pessoas que o espaço suporta, pois o sistema tem de ser capaz de manter durante todo o ano, a gama de temperatura desejada e um nível de humidade relativa aceitável.

As salas de aula são, neste trabalho, os espaços de maior importância, pois são as zonas onde os alunos e professores passam a maior parte do seu tempo. Normalmente

uma sala de aula do ensino básico tem capacidade máxima de 20 a 25 alunos, exigindo assim uma ventilação e climatização adequada para que os alunos se possam sentir confortáveis.

Ao dimensionar um sistema de AVAC para uma ou várias salas de aula é necessário ter em consideração quer as condições do interior do edifício, quer as condições do exterior, sendo que estas dependem da localização do edifício.

Relativamente às condições interiores, estas estão relacionadas com o conforto térmico e com a qualidade do ar interior, tópicos que já foram abordados nos subcapítulos anteriores.

Para efectuar um dimensionamento adequado de um equipamento de AVAC é necessário, realizar um cálculo das cargas térmicas adequado, sendo os programas de simulação ferramentas fundamentais para o efeito. Note-se que é sempre necessário muito cuidado nesta fase, pois o sobredimensionamento das cargas térmicas origina um aumento dos custos energéticos e também dos custos de planificação, embora não devam ser descurados possíveis picos de utilização.

A fase de projecto para o estudo relativo à escolha do melhor sistema de AVAC a ser implementado num edifício é muito importante quer para a eficiência energética, quer para o conforto no interior do edifício. Contudo, no caso de edifícios existentes (como acontece neste projecto) não deve ser apenas tomada em consideração a fase de projecto dos sistemas mas também os perfis de funcionamento e o nível de eficiência demonstrada pelos equipamentos constituintes dos sistemas do edifício, que são também factores essenciais no que diz respeito à eficiência energética.

2.3 Eficiência Energética

Actualmente, a eficiência energética e a gestão de energia nos edifícios são temas alvo de bastante preocupação, pois o sector de edifícios é um dos grandes consumidores mundiais de energia (Directiva Europeia 2002/91/EC).

A construção de edifícios tem-se demonstrado cada vez mais direccionada para as necessidades de conforto humanas, de modo a assegurar uma boa qualidade do ambiente interior e um nível de conforto térmico adequado (Alfano *et al.*, 2010). Uma vez que a maior parte das pessoas passa a maioria dos dias no interior de edifícios, estes devem ser o mais confortáveis possível para que as pessoas aí se sintam bem.

Relativamente aos edifícios escolares, onde a idade da maioria dos seus ocupantes varia entre os 6 e 18 anos, a importância da qualidade do ambiente interior é acrescida, uma vez que, como referido no subcapítulo 2.1.2 o ser humano nestas idades é bastante sensível ao nível de conforto (térmico e de QAI) dos ambientes interiores.

Assim na fase de projecto de um edifício escolar, tal como em qualquer outro tipo de edifício, devem ser adoptadas soluções de compromisso de forma a conciliar as condições de conforto e de racionalização energética (REHVA, 2010).

O uso eficiente da energia nas escolas está dependente de uma gestão correcta das instalações, como por exemplo o uso eficiente da iluminação, dos sistemas de AVAC, da utilização de outros equipamentos que contribuam para o consumo de energia eléctrica (computadores, e outro tipo de máquinas), etc.

Com o objectivo de economizar e promover a utilização da energia de um modo racional, surgiu o Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (QAI), que certifica todos os edifícios que cumpram com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e com o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização e Edifícios (RSECE).

Os regulamentos abordados obrigam, de certa forma, que os edifícios abrangidos pelos referidos regulamentos sejam avaliados do ponto de vista energético (auditorias energéticas) e que seja comparado com valores de referência para conferir o seu desempenho energético.

Em relação ao caso de estudo, são tomados em consideração alguns factores importantes, tendo em consideração o uso racional de energia (eficiência energética) para a redução do consumo de energia, tentando ainda melhorar os níveis de conforto térmico e QAI, se necessário. Para tal pretende-se:

- Quantificar os consumos energéticos (por instalação global e principais secções e/ou equipamentos);
- Efectuar uma inspecção visual dos equipamentos e/ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias;
- Efectuar um levantamento e caracterização detalhados dos principais equipamentos consumidores de energia (AVAC);
- Determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica (sistemas de AVAC instalados na escola);

- Definir as linhas orientadas para a implementação ou melhoria de um esquema operacional de gestão de energia;
- Definir intervenções com viabilidade técnico-económica, conducentes ao aumento da eficiência energética e/ou à redução da factura energética.

2.4 Metodologia de Classificação Energética

Para se obter a classe energética de um edifício é necessário criar um modelo de referência no programa de simulação seguindo os requisitos das tabelas I.07, I.09, I.10, I.13, I.14 e I.21 da Portaria n.º 349-D/2013, para posteriormente determinar o Indicador de Eficiência Energética (IEE). O IEE_s de um edifício representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética, sendo determinado pela expressão (1) para as funções indicadas na tabela I.01 (Portaria n.º 349-D/2013, Anexo I).

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

Onde:

$E_{s,i}$ – Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S (consumos relativos aos equipamentos cujo desempenho energético o SCE pretende regulamentar), [kWh/ano]

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²]

$F_{pu,i}$ – Factor de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com o Despacho do Director-Geral de Energia e Geologia (n.º 15793-D/2013), [kWh_{EP}/kWh]

Depois de calculado o IEE_s para o edifício de referência, é calculado o IEE_s para o Modelo Base (edifício em estudo) e de seguida é aplicada a fórmula (2) que determina a classe energética através do rácio de classe energética (Despacho n.º 15793-J/2013).

$$R_{IEE} = \frac{IEEs - IEE_{ren}}{IEE_{ref,s}} \quad (2)$$

Onde:

IEE_S – Indicador de Eficiência Energética, consoante o tipo de edifício e se trata de novo, existente ou sujeito a grande intervenção relativamente aos consumos do tipo S;

$IEE_{ref,s}$ – Indicador de Eficiência Energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S;

IEE_{ren} – Indicador de Eficiência Energética renovável associado à produção de energia eléctrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis.

2.5 Programa de simulação

Para efectuar o presente estudo utilizaram-se dois *softwares* (principais), o DesignBuilder que permitiu fazer a modelação geométrica e construtiva do edifício e o EnergyPlus que possibilitou efectuar a caracterização das condições interiores e exteriores, sistemas de AVAC, perfis de iluminação, ocupação e equipamentos, etc. No entanto, uma vez que o DesignBuilder é de fácil interacção com o utilizador relativamente à parametrização de dados, estes foram inseridos directamente neste programa em vez de recorrer ao EnergyPlus. Ou seja, a interface com o utilizador é realizada com o DesignBuilder que, por sua vez, transfere os *inputs* para o EnergyPlus, o qual é responsável pela simulação.

O EnergyPlus é o motor de cálculo, criado a partir dos programas DOE-2 e BLAST. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como ‘*time-step*’ de cálculo menor que uma hora, sistemas modulares, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (aquecimento solar, fotovoltaico, etc.). O método de cálculo utilizado pelo programa é o CTF (*Conduction Transfer Function*), método recomendado pela ASHRAE.

O programa faz uma integração das cargas térmicas, sistemas de climatização e dos equipamentos utilizados no edifício, possibilitando que os impactos causados pelo tipo de sistema e equipamento sejam considerados directamente no comportamento térmico do edifício, permitindo ao utilizador analisar todos os parâmetros.

Capítulo III - Caso de Estudo: Caracterização do edifício e modelo de simulação

Esta dissertação tem como principal objectivo a procura e análise de soluções que permitam melhorar a eficiência energética de parte de um complexo escolar existente em Montemor-o-Velho, a Este do centro da vila, junto à ligação rodoviária entre Figueira da Foz e Coimbra. O local pode ser identificado pelas seguintes coordenadas geográficas: 40°10'52.65''N (Latitude) e 8°40'28.23''W (Longitude).

Este complexo é constituído pelas escolas Secundária de Montemor-o-Velho, Básica 2/3 Jorge de Montemor e ainda pelo Jardim de Infância. Neste caso, o edifício em estudo neste projecto é exclusivamente a Escola Secundária de Montemor-o-Velho. De seguida é feita uma breve descrição das características principais do edifício.

3.1. Descrição do edifício

A Escola Secundária de Montemor-o-Velho é constituída por quatro grandes blocos (figura 1):

Bloco Escolar (A1,A2,A3,S e C) – tem dois pisos acima do solo com a seguinte composição: salas de aula, laboratórios, sala de professores, salas de alunos, gabinetes, instalações sanitárias, circulações e arrecadações/armazéns;

Bloco Refeitório (3) – tem um piso acima do solo com a seguinte composição: refeitório, convívio alunos/pessoal, circulações, cozinha, instalações sanitárias, balneários e armazéns;

Bloco Biblioteca (1) – tem um piso acima do solo com a seguinte composição: sala de leitura, sala de convívio, sala de gestão, circulação, instalações sanitárias e arquivos;

Bloco Ginásio (2) – compreende sala polivalente/ginásio, balneários, instalações sanitárias e circulações.

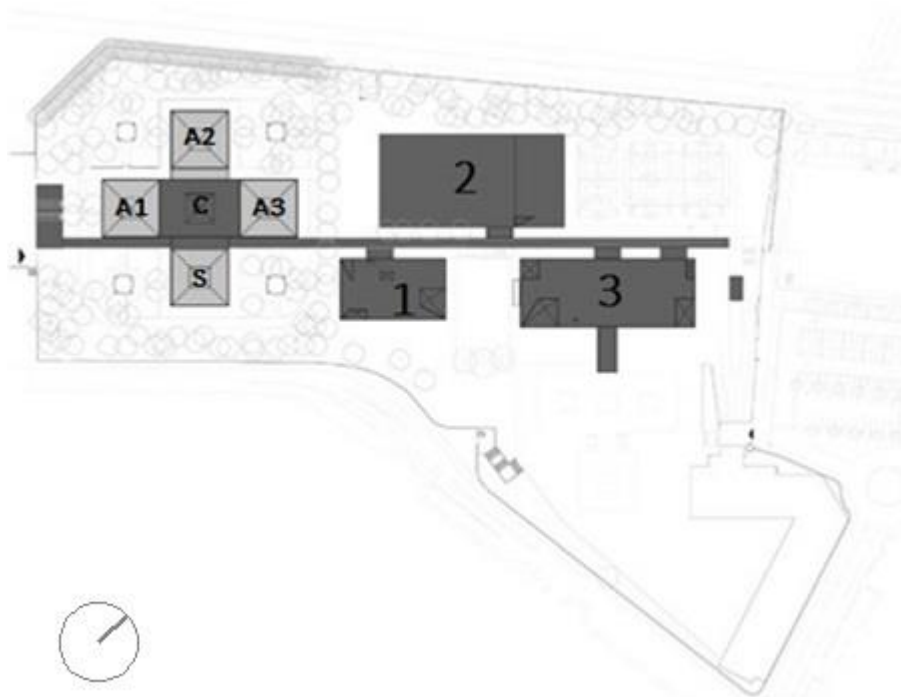


Figura 1 – Implantação do edifício escolar

A biblioteca (edifício 1 da figura 1) encontra-se a uma distância de 13,5m do bloco escolar sendo a sua altura inferior à deste (4,6m *versus* 7,74m, respectivamente).

O edifício 2 representa o Ginásio. Este encontra-se a uma distância de 33,5 metros do bloco escolar sendo a sua altura muito próxima da deste. O refeitório é representado na figura 1 como o edifício número 3.

Para o caso de estudo é apenas abordado o Bloco Escolar, onde estão localizadas as salas de aula, sendo o local onde os alunos e docentes passam a maior parte do seu tempo.

O Bloco Escolar é constituído por quatro blocos de dois pisos (blocos A1, A2, A3 e S), com áreas de implantação de forma quadrada com 21 metros de lado, dispostos em quincôncio com um pátio arborizado no centro (Anexo G). A Este deste conjunto localiza-se um campo de jogos exterior e o edifício da Escola EB2/3.

No piso 0 do Bloco A1 localizam-se as salas de audiovisuais, uma sala de aulas para pequenos grupos, duas salas para associação de alunos e para associação de pais, arrumos, uma arrecadação, uma área técnica, a recepção e as instalações sanitárias masculinas, femininas e para pessoas de mobilidade condicionada. No piso 1, estão localizadas sete salas de aula, sendo uma delas para pequenos grupos de alunos.

No piso 0 do Bloco A2 localizam-se, a Oeste, o laboratório de Física e uma sala de aula, a Este encontra-se o laboratório de Química e outra sala de aula. Entre os dois laboratórios, a Norte, existe uma sala de apoio aos dois laboratórios. A Sul do bloco localizam-se duas divisões, uma do lado esquerdo do bloco que se destina a primeiros socorros e do lado direito encontra-se a oficina de manutenções.

O piso 1 é idêntico ao piso 0, encontrando-se a diferença na designação dos laboratórios. A Oeste existe um laboratório de Biologia e Geologia, seguido de uma sala de aula. A Este está o laboratório polivalente, também este seguido por outra sala de aula. Entre estes encontra-se a Norte uma sala de apoio. A Sul existem duas arrecadações, uma de cada lado do bloco.

O piso 0 do Bloco A3 alberga o bar, a papelaria/reprografia, as salas de Tecnologia de Informática e Computadores (TIC) e duas salas entre as salas TIC para arrecadações de material informático. O piso 1 destina-se exclusivamente a salas de aula.

O piso 0 do Bloco S encontra-se um metro abaixo dos restantes blocos e destina-se a docentes e não docentes. Neste piso estão localizados os gabinetes de direcção, salas de reuniões, uma sala de atendimento, um gabinete de atendimento a encarregados de educação e as instalações sanitárias masculinas e femininas.

O piso 1 é igualmente destinado a docentes e não docentes e nele situam-se duas salas de reuniões, duas salas de pausa, duas salas de arquivo, bem como uma sala multiusos e um gabinete de Psicologia. Existem também instalações sanitárias munidas de um vestiário para o pessoal não docente.

Em todos os blocos, estes espaços organizam-se perifericamente em torno de um corredor quadrangular, em cujo centro se situa a caixa de escadas.

A unir estes quatro blocos, uma pérgula com pilares e cobertura em betão armado permite a passagem entre blocos ao abrigo da chuva, vencendo, através de escadas, as diferenças de cota entre eles.

Na Tabela 1 estão indicados os quatro blocos e a respectiva área útil por piso.

Tabela 1 – Áreas úteis do edifício escolar

Blocos	Pisos	Área Útil (m ²)
Bloco A1	Piso 0	459,4
	Piso 1	509,2
Bloco A2	Piso 0	548,6
	Piso 1	548,6
Bloco A3	Piso 0	408,4
	Piso 1	459,8
Bloco S	Piso 0	462,4
	Piso 1	443,3
Bloco C	Piso 0	727,3
	Piso 1	727,3

Após uma visita preliminar ao edifício escolar no mês de Junho (ainda com aulas a decorrer), pôde-se constatar que em algumas salas se verificavam valores elevados de temperatura do ar. Verificou-se também que as janelas, uma vez que não são de correr, mas sim de sistema de abertura lateral, não permitem, normalmente, a sua abertura franca, o que origina desconforto. Cada janela tem uma área de vão total de 4,3 m², ocupando, quando aberta, espaço no interior da sala e afectando assim a visibilidade dos alunos.

Perante estes e outros problemas, é necessária a aplicação de soluções que conduzam à melhoria das condições de conforto térmico e da qualidade do ar interior, e à redução dos consumos energéticos. Tendo em conta que o edifício já se encontra construído, serão analisadas possíveis estratégias para implementar no edifício, preferencialmente de custo de execução nulo ou reduzido.

3.2. Características Arquitectónicas

Todos os alçados do edifício escolar são constituídos por vários vãos envidraçados em ambos os pisos, com a excepção do alçado sul (figura 3), que, no nível 0 do bloco S, apenas possui uma porta e uma janela envidraçada e nos blocos laterais não possui nenhum envidraçado devido ao passadiço coberto que ali se encontra ao longo de toda a fachada. Na figura 2 pode visualizar-se o bloco S, à esquerda, que se encontra um metro abaixo dos restantes blocos. Todas as fachadas são constituídas por parede dupla, embora a parede entre janelas seja diferente relativamente à parede abaixo e acima das mesmas. Os alçados Norte, Este e Oeste são semelhantes ao alçado Nascente (figura 2).

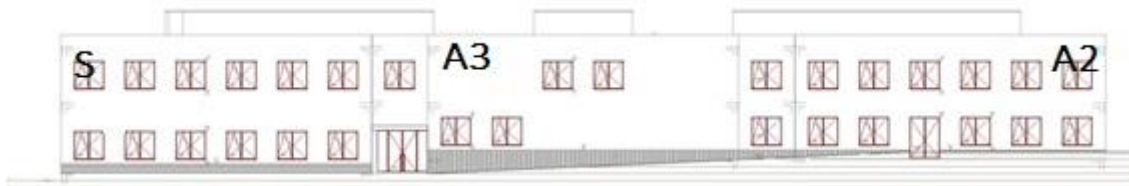


Figura 2 – Alçado Nascente

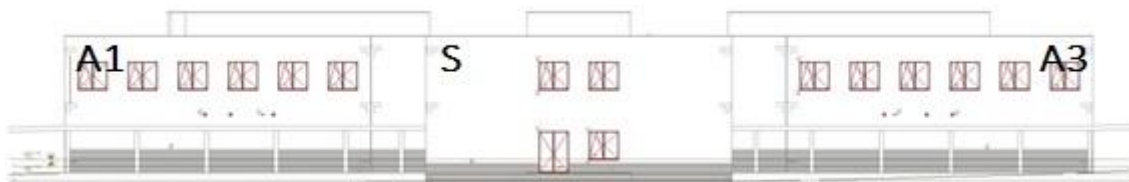


Figura 3 – Alçado Sul

3.3. Soluções construtivas

3.3.1. Elementos opacos

As paredes interiores são maioritariamente construídas por paredes simples (tijolo), à excepção das paredes que dividem cada bloco entre si e algumas paredes divisórias entre salas que são constituídas de paredes duplas (tijolo + caixa de ar + tijolo) e de paredes duplas com isolamento térmico. Na tabela 2 são apresentados os tipos de construção das paredes interiores e são identificadas por cores nas figuras 4 e 5.

As lajes divisórias entre o piso 0 e piso 1 são constituídas por betão e acabamentos vários. O pavimento do piso 0 é constituído por uma camada de brita compacta, uma camada de *tout-venant* e de seguida betão com acabamentos vários. O tecto do edifício é constituído por uma laje de betão, betonilha de regularização, isolamento e seixo rolado no exterior. Nas figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam-se quatro cortes representativos de cada bloco (A1, A2, A3 e S) (os restantes cortes são apresentados no Anexo 1).

Tabela 2 – Tipos de construções interiores

Cor de Identificação	Tipo de construção (sucinta)
Azul Escuro	Parede simples
Amarelo	Parede dupla
Azul ‘Caneta’	Parede dupla
Castanho	Parede dupla com isolamento
Laranja	Parede Simples
Roxo	Parede dupla
Verde Claro	Parede dupla com isolamento
Verde Escuro	Parede simples
Vermelho (paredes de inércia)	Parede dupla com isolamento

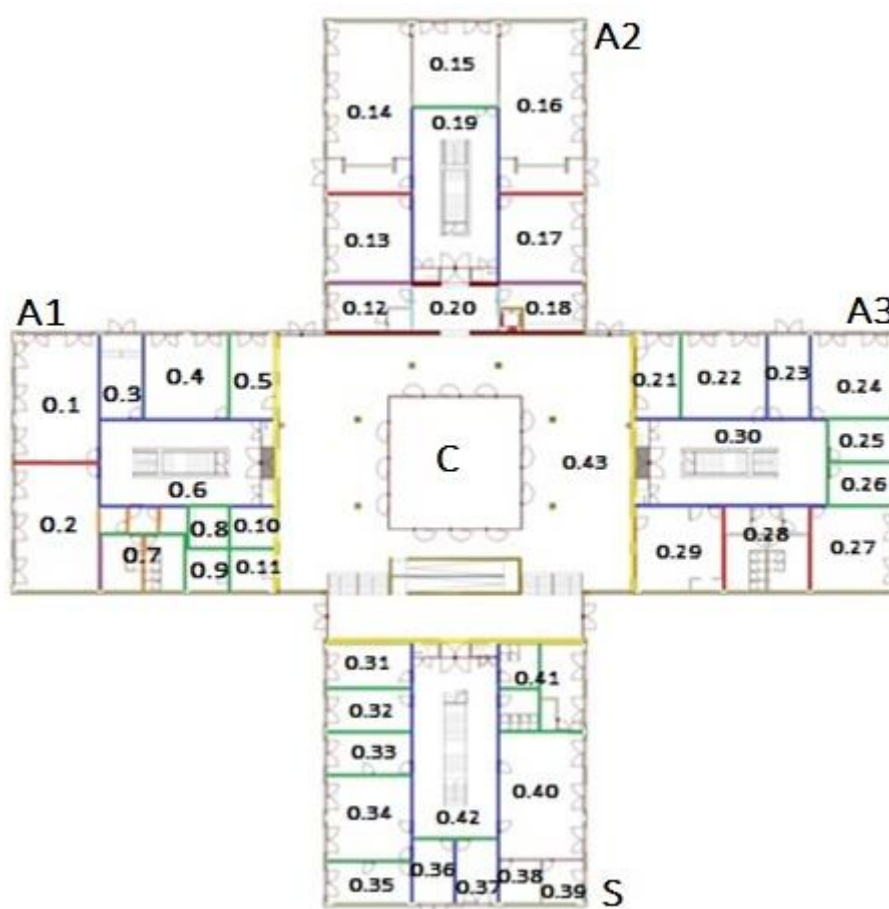


Figura 4 – Planta Piso 0

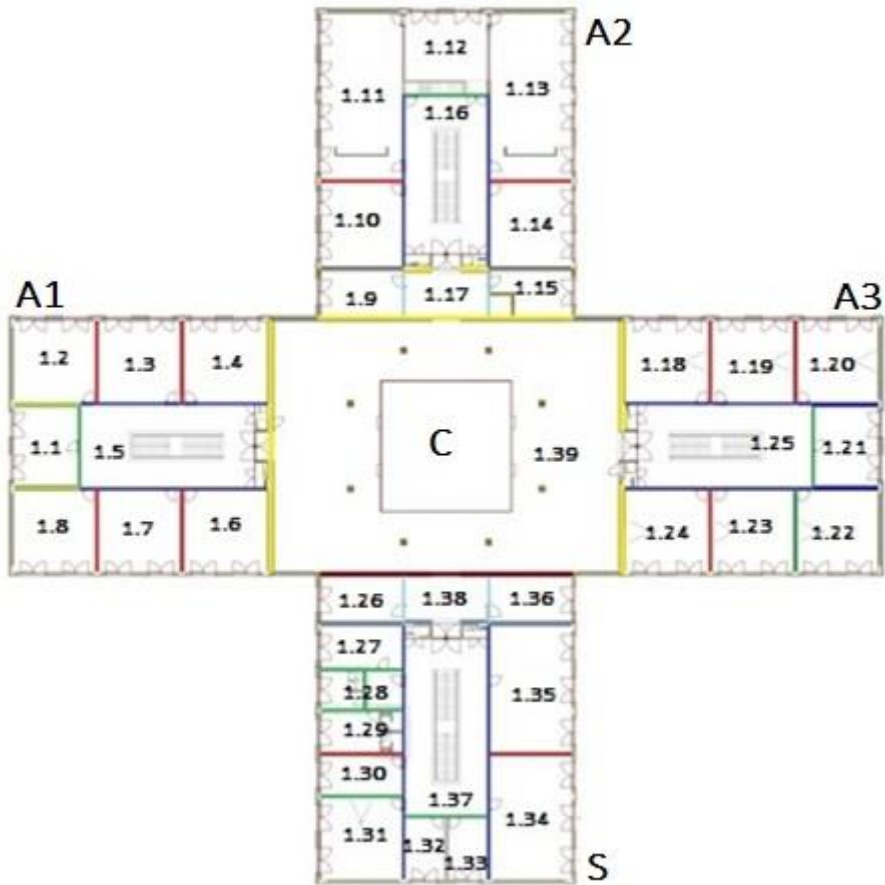


Figura 5 – Planta Piso 1



Figura 6 – Corte representativo do Bloco S

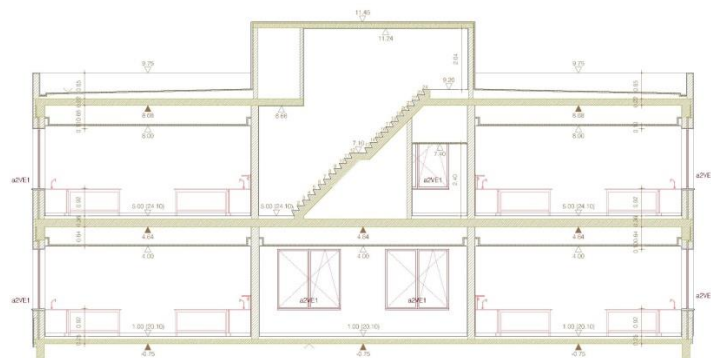


Figura 7 – Corte representativo do Bloco A2

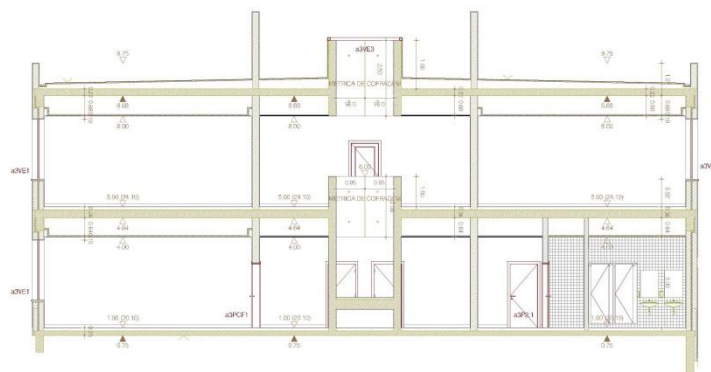


Figura 8 – Corte representativo do Bloco A3

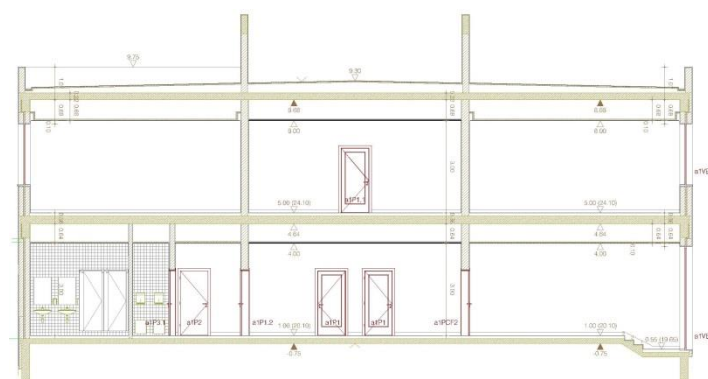


Figura 9 – Corte representativo do Bloco A1

Os espaços representados nas figuras 4 e 5 encontram-se identificados na tabela do Anexo 2.

Na tabela do Anexo 3 apresentam-se os tipos de construção das superfícies e sub-superfícies constituintes do edifício escolar. Todas as soluções construtivas foram consultadas nos respectivos desenhos em AutoCAD.

Os materiais de construção foram criados a partir da base de dados do DesignBuilder tendo em conta materiais semelhantes. Relativamente às características (resistência térmica, condutibilidade, calor específico) de materiais que não existiam na base de dados do DesignBuilder, estas foram obtidas a partir das fichas técnicas contidas no ITE 50 (Informação Técnica Edifícios) (Quadros I.1 ao I.9).

3.3.2. Envidraçados

As soluções construtivas dos envidraçados foram introduzidas no DesignBuilder a partir da base de dados do próprio programa, com características iguais às dos materiais presentes na memória descritiva do projecto da escola.

Todos os envidraçados e portas exteriores são constituídos por vidros duplos. Na tabela 3 pode verificar-se as características de todos os envidraçados do edifício.

Tabela 3 – Características dos envidraçados

ID (DesignBuilder)	Tipo	Características	U [W/m².K]	Factor Solar
Envidraçados_A1.A2.A3.S	Vidro Duplo	Vidro Temperado 8mm + Ar 8mm + Vidro laminado 44.1mm	2,841	0,560
Envidraçados_BlocoC	Vidro Duplo	Vidro Temperado 8mm + Ar 8mm + Vidro Laminado 66.1mm	2,811	0,601
Envidraçados_Claraboias	Vidro Duplo	Vidro Temperado 8mm + Ar 12mm + Vidro Laminado 55.2mm	2,599	0,607

3.3.3. Sombreamentos

Não existem edifícios grandes à volta da escola e as árvores que existem ao seu redor são de pequeno porte (em volta das grades que circundam a escola existem cedros que contornam as grades no lado da estrada nacional).

Foram apenas considerados como possíveis sombreamentos o ginásio que fica a nascente e a biblioteca que também fica situada a nascente da escola. Na figura 10 podemos visualizar a biblioteca (1) e o ginásio (2).

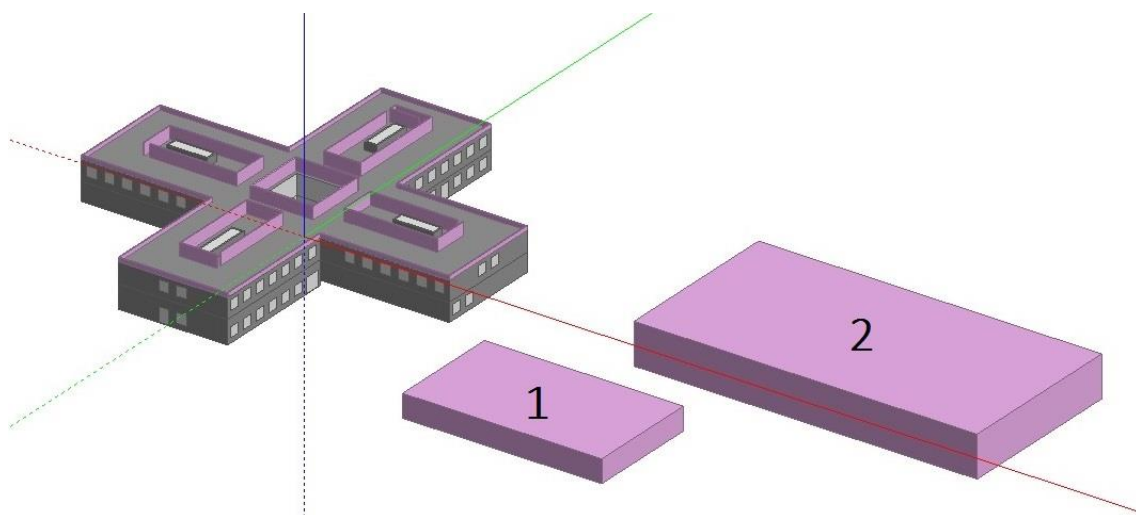


Figura 10 – Edifícios responsáveis por possíveis sombreamentos: 1 – biblioteca, 2 – ginásio.

3.4. Sistema de Climatização

O sistema de AVAC do edifício escolar é constituído por duas Unidades Recuperadoras de Calor (URC) em cada um dos quatro blocos (uma por piso). Estas unidades recuperam o calor proveniente do ar de extracção e introduzem ar novo filtrado e pré-climatizado nas salas de aula e nas zonas administrativas. São compostas por um permutador de placas de fluxos cruzados em alumínio, dois ventiladores (insuflação e extracção) e dois filtros de ar (um na tomada de ar novo e o outro na extracção de ar viciado). Os filtros das unidades estão colocados antes do recuperador de calor para evitar a sua colmatação e a conseqüente perda de eficiência térmica.

Cada bloco é também dotado de um mini sistema de VRV (Volume de Refrigerante Variável) que tem a capacidade de fazer o aquecimento ou arrefecimento do ar que é colocado nos espaços através das URC's. Cada unidade VRV exterior tem a capacidade de interligar nove unidades interiores funcionando de uma forma simultânea ou individual.

Nas tabelas 4 e 5 encontram-se as propriedades e principais características dos equipamentos de AVAC (URC's e VRV).

Tabela 4 – Características do V.R.V

VRV – Unidade Exterior	
Capacidade de Arrefecimento [kW]	14
Capacidade de Aquecimento [kW]	16

COP	4,1
EER	3,66

Tabela 5 – Características das Unidades Recuperadoras de Calor

Referência	$Q_{Ar\ Novo}$ [m ³ /h]	$Q_{Extração}$ [m ³ /h]	$P_{Ventilação}$ [kW]	Perda Carga (disponível) [Pa]	Recuperação
URC 1 (Bloco A1)	11715	9465	2,7+2,3	150/60	50% (min.)
URC 2 (Bloco A2)	8790	8790	2,5+2,2	150/60	50% (min.)
URC 3 (Bloco A3)	9480	7025	2,9+2,3	150/60	50% (min.)
URC 4 (Bloco S)	7825	7025	2+1,65	150/60	50% (min.)

3.5. Ventilação

Na escola existe apenas ventilação de extracção nas instalações sanitárias e na área técnica do bloco A1 no piso 0, ventilação essa que não é associada à extracção da climatização do edifício. Existem 4 instalações sanitárias em todo o edifício, sendo que no bloco A1 a potência total dos ventiladores de extracção das instalações sanitárias juntamente com a potência do ventilador de extracção da área técnica é 221 W. O bloco A2 não possui nenhuma instalação sanitária e o ventilador do bloco A3 tem uma potência de 150 W. O bloco S como tem apenas duas instalações sanitárias individuais, uma no piso 0 e outra no piso 1, a potência total de ventilação é de 40 W. A potência total necessária para extrair o ar de todas instalações sanitárias e da área técnica é de 420 W.

Existem dois tipos de ventiladores que extraem o ar das instalações sanitárias:

- Ventilador Centrífugo – ventilador utilizado nas instalações sanitárias comuns;
- Ventilador Helicoidal – ventilador utilizado nas instalações sanitárias individuais.

3.6. Tipologia de utilização

A utilização do edifício é a típica de uma escola secundária, com horários das salas de aula a variar entre as 8h00 e as 18h00 e horários fixos para os locais

administrativos das 8h00 às 17h00. No ano lectivo de 2012/2013 as actividades escolares tiveram início entre 10 e 14 de Setembro, com interrupção de 17 de Dezembro de 2012 até 2 de Janeiro de 2013 para férias de Natal. De 11 de Fevereiro a 13 de Fevereiro de 2013 ocorreu uma pausa de três dias para férias de Carnaval, e de 18 de Março a 1 de Abril a escola encerrou para as férias da Páscoa. O final do ano lectivo foi a 14 de Junho.

Nos blocos de aulas (A1, A2 e A3), os horários a introduzir no programa de simulação são criados com base na informação dos horários reais das salas para o ano lectivo de 2012/2013. No bloco S, uma vez que se destina exclusivamente a zonas administrativas e a algumas salas de reuniões, os horários são típicos de locais administrativos.

3.7. Modelo do edifício

3.7.1. Zonamento

De forma a simplificar o modelo do edifício, os vários espaços foram agrupados em zonas com características e orientações semelhantes. Na tabela do Anexo 4 encontram-se identificadas as zonas consideradas e os espaços que as constituem, identificados anteriormente nas figuras 4 e 5 e na tabela do Anexo 2. Nas figuras do Anexo 5 apresentam-se as plantas do piso 0 e piso 1 com as zonas devidamente identificadas por cores. Este sistema de cores encontra-se também representado na tabela do Anexo 4.

A divisão entre as zonas foi feita a meia espessura das paredes divisórias para manter uma uniformidade das dimensões do edifício. Relativamente às paredes exteriores, a distância prolonga-se apenas até ao início da parede, ou seja, a delimitação das paredes exteriores é feita pelo interior da mesma. Este critério permitiu manter ou até mesmo aumentar ligeiramente as áreas de transferência de calor com a envolvente exterior, compensando assim as pontes térmicas, evitando em simultâneo, interferências no modelo geométrico.

As alturas das zonas foram consideradas desde o nível do pavimento até à cota do tecto em conformidade com o manual do DesignBuilder: 3,74 m para o piso 0 e 4,04

m para o piso 1 nos blocos A1, A2 e A3. O bloco S, como está um metro abaixo dos restantes blocos tem uma altura de 4,74 m no piso 0 e 4,04 m no piso 1.

3.7.2. Geometria e envolvente

O modelo geométrico do edifício foi construído no *software* DesignBuilder. Através deste *software* foram criadas 40 zonas definidas através das respectivas características, tais como janelas, portas, soluções construtivas dos vários tipos de superfícies (pavimentos, tectos, cobertura, paredes interiores e exteriores), densidades e perfis de iluminação, ocupação, equipamentos e de AVAC.

No piso 0, o bloco S teve de ficar separado dos restantes, uma vez que se encontra um metro abaixo relativamente aos restantes, ficando o piso 0 constituído por dois “*blocks*”, sendo o primeiro *block* constituído pelos blocos A1, A2 e A3 e o segundo *block* constituído apenas pelo bloco S. No piso 1, os quatro blocos foram construídos apenas com um *block*.

Nas figuras 11 e 12 podemos ver o piso 1 do edifício tal e qual como foi construído no DesignBuilder (figuras do piso 0 no Anexo 6). Na figura 12 podem verificar-se ainda os *component blocks* que constituem o Ginásio e a Biblioteca. Estes *component blocks* foram adicionados devido a um eventual sombreamento que possam causar ao edifício em estudo.

Foram efectuadas algumas simplificações no modelo, tais como:

- Foram desprezadas as portas interiores;
- Na zona de circulação no centro de cada bloco, as escadas não foram consideradas;
- Não foi tido em conta o elevador;
- Foram desprezados pequenos detalhes geométricos do edifício.

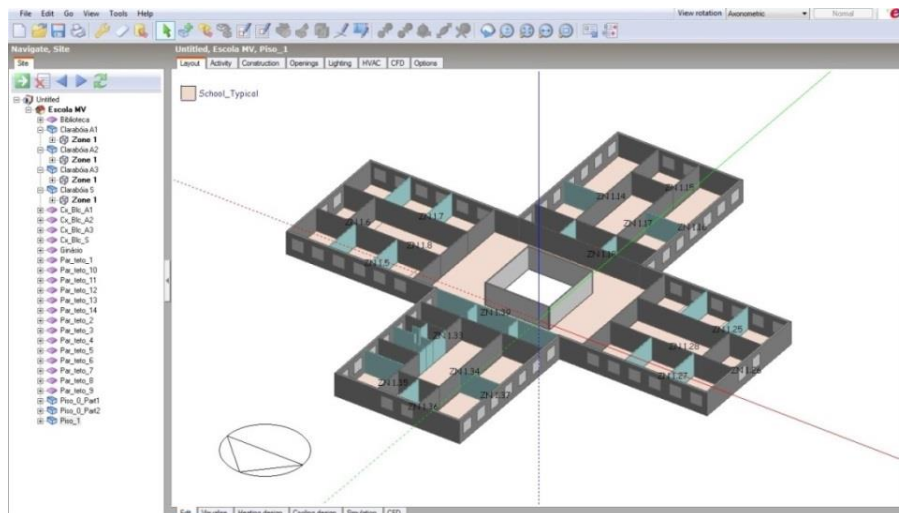


Figura 11 – Block 3 – Blocos A1, A2, A3 e S piso 1

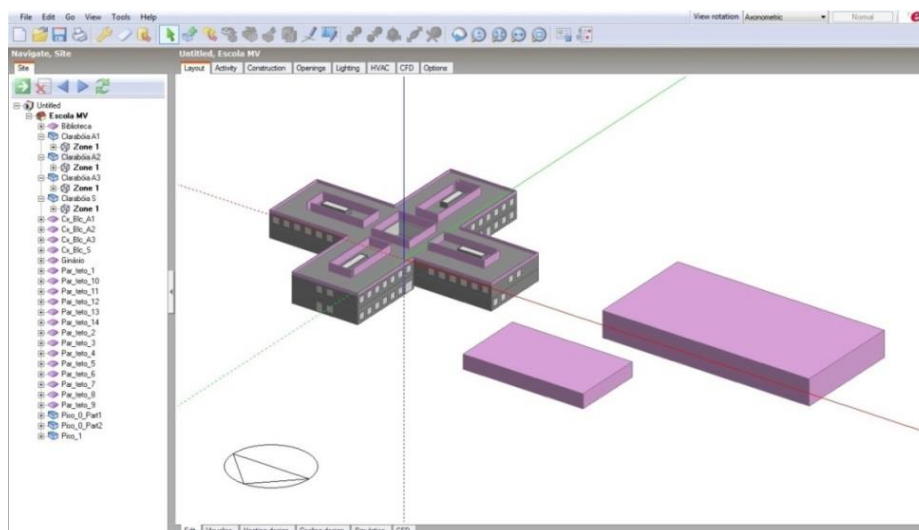


Figura 12 – Edifício escolar completo

3.8. Perfis de Utilização

3.8.1. Ocupação

A predominância de ocupação no edifício são as salas de aula. Cada sala de aula tem, em média, 25 lugares para alunos mais um lugar para o professor. As salas de informática são as que têm capacidade para um maior número de alunos, tendo 37 lugares. No bloco S, a ocupação máxima por espaço foi admitida em 12 pessoas.

A densidade de ocupação foi criada zona a zona e definida pelo número máximo de pessoas por zona dividido pela área total dessa mesma zona (pessoa/m²).

Na tabela 6 apresentam-se as densidades de ocupação de cada zona do edifício, sendo as zonas 20, 21 e 22 (Salas TIC) as zonas com maior densidade.

Uma vez que o edifício é composto por 40 zonas, como se pode constatar na tabela do Anexo 4 e nas figuras do Anexo 5, optou-se por não se apresentar todos os gráficos representativos dos perfis de ocupação visto que o número de gráficos seria igual ao número de zonas, uma vez que cada zona tem um determinado perfil. Nos gráficos 1 e 2 apresenta-se um exemplo de perfil para a ocupação das salas de aula e para serviços administrativos. Os restantes perfis seguem no Anexo C.

Tabela 6 – Densidade de ocupação das diferentes zonas

Zonas	Densidade (pessoa/m²)	Zonas	Densidade (pessoa/m²)
0.1	0,4	0.21	0,75
0.2	0,24	0.22	0,72
0.3	0,26	0.23	0,18
0.4	0,26	0.24	0,3
1.5	0,51	1.25	0,51
1.6	0,65	1.26	0,43
1.7	0,51	1.27	0,51
1.8	0,26	1.28	0,26
0.9	0,34	0.29	0,31
0.10	0,01	0.30	0,21
0.11	0,34	0.31	0,17
0.12	0,28	0.32	0,18
0.13	0,40	1.33	0,56
0.14	0,34	1.34	0,21
1.15	0,10	1.35	0,36
1.16	0,34	1.36	0,63
1.17	0,28	1.37	0,21
1.18	0,38	0.38	0,07
0.19	0,14	0.38_1	0,05
0.20	0,74	0.39	0,06

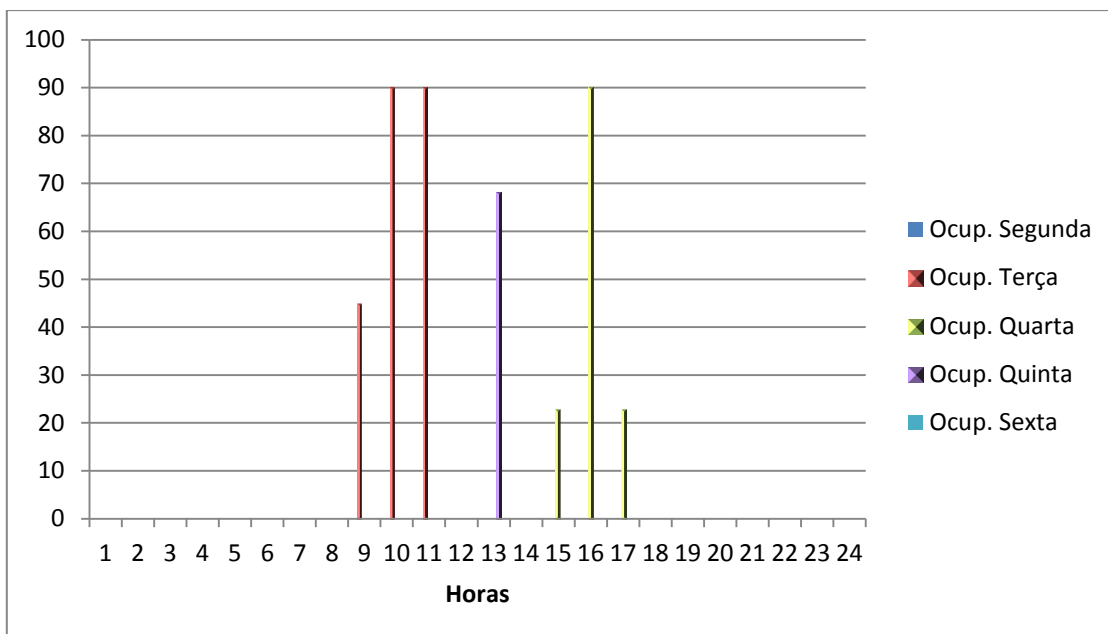


Gráfico 1 – Perfil de ocupação da zona 1 (sala de E.V. e E.V.T.)

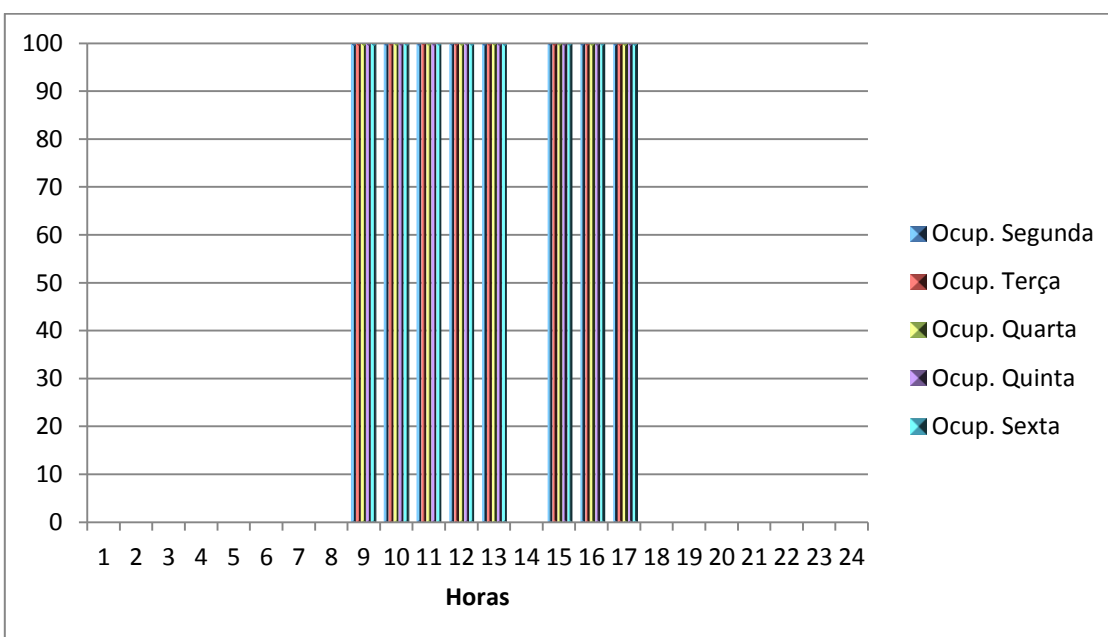


Gráfico 2 – Perfil de ocupação do Secretariado da Direcção (zona administrativa)

3.8.2. Iluminação

Na documentação obtida foi possível através do projecto de iluminação ter conhecimento do tipo de luminárias (T5 fluorescentes tubular) presentes em cada zona, sabendo-se inclusive a potência de cada uma.

Este tipo de lâmpadas são da última geração de lâmpadas fluorescentes, possuindo um rendimento significativamente melhor quando comparadas com as lâmpadas comuns, pois oferecem menor barreira à passagem de luz que reflecte no fundo da luminária. Operam com balastros electrónicos o que faz com que sejam bastante eficientes.

A densidade de iluminação por zona obtém-se dividindo a potência de iluminação total de uma zona pela área da respectiva zona (W/m^2). Na tabela 7 lista-se a densidade de iluminação correspondente a cada zona do edifício escolar.

Tabela 7 – Densidade de Iluminação

Zonas	Densidade (W/m^2)	Zonas	Densidade (W/m^2)
0.1	11	0.21	6
0.2	9	0.22	6
0.3	3	0.23	4
0.4	7	0.24	4
1.5	8	1.25	8
1.6	7	1.26	7
1.7	8	1.27	8
1.8	5	1.28	5
0.9	7	0.29	8
0.10	9	0.30	5
0.11	7	0.31	8
0.12	4	0.32	8
0.13	7	1.33	4
0.14	7	1.34	6
1.15	6	1.35	10
1.16	7	1.36	10
1.17	4	1.37	8
1.18	3	0.38	2
0.19	5	0.38_1	3
0.20	6	0.39	2

3.8.3. Equipamentos Eléctricos

A maioria dos equipamentos eléctricos presentes no edifício escolar são computadores e projectores, à excepção da zona do bar e da reprografia, que estão dotadas de outro tipo de equipamentos. Nas zonas de salas de aula, considerou-se que cada sala contém um computador (100 W de potência) e um projector (potência de 500

W). Em relação à zona do bar, considerou-se que a potência máxima consumida pelos equipamentos aí existentes é da ordem dos 25 kW, e na zona da reprografia tem-se um valor máximo de 5 kW. Na tabela 8 podem-se verificar as densidades referentes às cargas térmicas dos equipamentos eléctricos instalados em cada zona. O método de cálculo para obtenção da densidade dos equipamentos eléctricos é semelhante ao método utilizado para a iluminação: razão da potência emitida pela área da respectiva zona (W/m^2).

Tabela 8 – Densidade de carga térmica de equipamentos

Zonas	Densidade (W/m^2)	Zonas	Densidade (W/m^2)
0.1	8	0.21	43
0.2	8	0.22	43
0.3	S/Equip.	0.23	S/Equip.
0.4	26	0.24	485
1.5	12	1.25	12
1.6	15	1.26	15
1.7	12	1.27	12
1.8	S/Equip.	1.28	S/Equip.
0.9	8	0.29	7
0.10	2	0.30	S/Equip.
0.11	8	0.31	5
0.12	S/Equip.	0.32	9
0.13	S/Equip.	1.33	S/Equip.
0.14	8	1.34	S/Equip.
1.15	2	1.35	8
1.16	8	1.36	S/Equip.
1.17	S/Equip.	1.37	S/Equip.
1.18	S/Equip.	0.38	S/Equip.
0.19	185	0.38_1	S/Equip.
0.20	42	0.39	S/Equip.

3.8.4. Ventilação

Na tabela 9 são apresentados os resultados dos cálculos de consumos de energia anual dos ventiladores de extracção das instalações sanitárias. Estimou-se que estes ventiladores têm um funcionamento diário de 3h por dia. O cálculo referente aos meses de Julho e Agosto é feito supondo que apenas as casas de banho do bloco S estão em funcionamento.

Tabela 9 – Consumo Ventiladores de Extracção das Instalações Sanitárias

Meses	Dias por mês	Horas por dia	Potência Total [kW]	Consumo [kWh]
Janeiro	21	3	0,42	26,46
Fevereiro	21	3	0,42	26,46
Março	11	3	0,42	13,86
Abril	22	3	0,42	27,72
Maio	23	3	0,42	28,98
Junho	11	3	0,42	13,86
Julho	10	3	0,04	1,20
Agosto	10	3	0,04	1,20
Setembro	10	3	0,42	12,60
Outubro	23	3	0,42	28,98
Novembro	21	3	0,42	26,46
Dezembro	15	3	0,42	18,90

Na tabela 10 são apresentados os valores de insuflação de ar novo por zona e os valores de extracção a introduzir no programa de simulação. As zonas correspondentes à extracção estão a cor vermelha (número da zona a vermelho).

Tabela 10 – Caudais de Insuflação e Extracção

Zonas	Insuflação/Extracção (l/s-m ²)	Zonas	Insuflação/Extracção (l/s-m ²)
0.1	3,68	0.21	5,5
0.2	2,02	0.22	5,54
0.3	8,39	0.23	28,81
0.4	0,26	0.24	10,8
1.5	5,34	1.25	5,35
1.6	4,2	1.26	4,2
1.7	5,35	1.27	5,35
1.8	14,89	1.28	14,90
0.9	3,56	0.29	3,93
0.10	3,12	0.30	12,61
0.11	3,56	0.31	6,47
0.12	11,1	0.32	2,21
0.13	0,845	1.33	5,13
0.14	3,56	1.34	18,04
1.15	3,12	1.35	1,94
1.16	3,56	1.36	7,63
1.17	10,24	1.37	3,34
1.18	S/AVAC	0.38	S/AVAC
0.19	1,59	0.38_1	S/AVAC
0.20	5,38	0.39	S/AVAC

Numa primeira simulação constatou-se que ao colocar os valores de extracção nas respectivas zonas e estando o equipamento de AVAC dimensionado no programa para apenas efectuar a extracção do ar, na realidade este não estava a ser extraído mas sim insuflado para a zona, o que, posteriormente aumentava as necessidades de aquecimento durante o ano. Verificou-se ainda que o programa não contabilizou a energia consumida pelos ventiladores de insuflação (a versão (v3.4.0.033) utilizada do DesignBuilder não permitia no modo *Simple HVAC* colocar o valor do ΔP (Pressão Estática) dos ventiladores). Assim, os consumos dos ventiladores de extracção e de insuflação foram calculados manualmente e adicionados aos resultados obtidos da simulação para o consumo final do edifício (Anexo A).

Na tabela 11 pode verificar-se o consumo mensal dos ventiladores de insuflação e extracção.

Tabela 11 – Consumos dos Ventiladores de Insuflação e Extracção

Meses	Dias por mês	Horas por dia	Potência [kW]	Consumo [kWh]
Janeiro	21	8	18,55	3116,4
Fevereiro	21	8	18,55	3116,4
Março	11	8	18,55	1632,4
Abril	22	8	18,55	3264,8
Mai	23	8	18,55	3413,2
Junho	11	8	18,55	1632,4
Julho	15	8	3,65	438
Agosto	10	8	3,65	292
Setembro	10	8	18,55	1484
Outubro	23	8	18,55	3413,2
Novembro	21	8	18,55	3116,4
Dezembro	15	8	18,55	2226

3.8.5. Infiltrações

Nos edifícios escolares, em termos de projecto, consideram-se as salas de aula em regime de sobrepressão, ou seja, o sistema mecânico de ventilação está projectado para insuflar mais caudal de ar do que aquele que é extraído. O mesmo acontece para o edifício em estudo, sendo que, nestas situações, não há ocorrência de infiltrações nos espaços, mas sim exfiltrações.

Como se trata de um edifício relativamente recente, considerou-se um valor de 0,5 renovações de ar por hora.

Para o caso de estudo considera-se que durante o funcionamento dos equipamentos de AVAC o edifício se encontra em ligeira sobrepressão, uma vez que existem sempre infiltrações. Assumiu-se assim uma percentagem de 15% (das 0,5 renovações de ar por hora) durante o horário de funcionamento de AVAC (devido a uma porta aberta ou uma janela). Já fora do horário de funcionamento dos equipamentos de AVAC ocorrem infiltrações no edifício.

No gráfico 3 verificam-se os horários de funcionamento correspondentes às infiltrações quer no período de fins-de-semana, quer no período de semana.

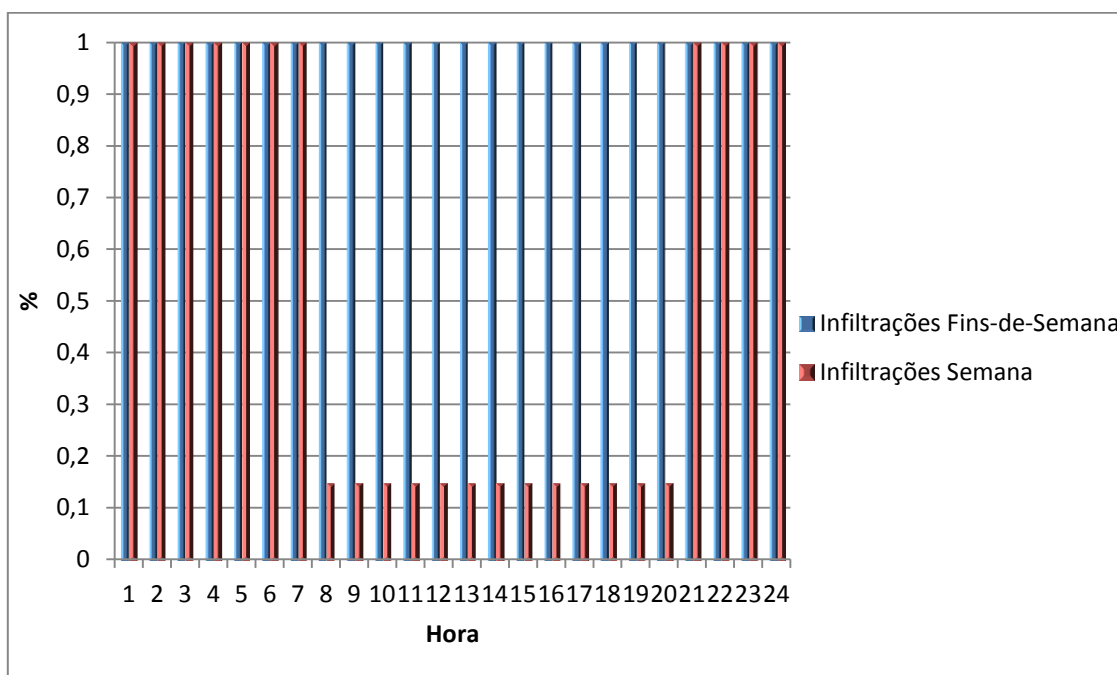


Gráfico 3 – Infiltrações no Edifício

3.9. Dados Meteorológicos

Os dados climáticos do local onde o edifício está construído foram adicionados na pasta *Weather Data* do programa DesignBuilder. Estes dados provêm do ficheiro climático “PRT_MONTEMOR-O-VELHO_INETI”.

A zona climática correspondente à zona de Montemor-o-Velho segundo o RCCTE (Anexo III do RCCTE, pág. 2477, 2006) é II – V1.

Nas zonas II – V1 os climas são mais amenos, o que significa que a exigência das condições regulamentares é menor. Os graus dia de aquecimento variam entre 940 a 1500.

Uma vez que Montemor-o-Velho fica relativamente perto do mar (20 Km em linha recta), no verão devido à predominância da influência estabilizadora marítima, verificam-se amplitudes térmicas diárias menores.

Relativamente às temperaturas do solo, considerou-se 18°C para todos os meses do ano.

Capítulo IV – Resultados e Discussão

4.1 Resultados do edifício actual

O gráfico 4 permite a comparação de consumos médios mensais reais (através da auditoria energética), de electricidade com os valores obtidos no modelo de simulação dinâmica. Através da auditoria energética foram apenas fornecidos os valores mensais totais de consumo eléctrico do ano de 2012 e de 2013 até Junho, ou seja, de 2013 apenas foi fornecido metade do ano, sendo feita uma média entre os dois anos dos primeiros 6 meses e os restantes 6 meses são valores resultantes de 2012. Note-se que, para os consumos de electricidade, o desvio anual do modelo relativamente ao consumo real é de apenas 0,5%, sendo que o maior afastamento é registado nos meses de Janeiro e Maio. Em Janeiro o desvio pode ser justificado pela provável pouca representatividade das condições climáticas, ou forma de operação do edifício, no ano de 2012, pois o consumo de energia obtido na auditoria energética em 2012 foi de 17.887 kWh e no ano de 2013 foi de 14.503 kWh, obtendo-se com o modelo de simulação 14.699 kWh. Relativamente ao mês de Maio, uma vez que se trata de um mês de meia estação, a possível causa para um desvio maior, de 9,3%, poderá estar relacionado com uma operação real do sistema de AVAC menos intensa que o considerado na simulação dinâmica, visto estarmos num período de meia estação de transição para o Verão.

Em relação aos restantes meses o desvio é inferior a $\pm 7\%$. No Anexo A podem verificar-se todos os cálculos auxiliares para a elaboração do gráfico 4.

O gráfico 5 apresenta a desagregação dos consumos de energia eléctrica obtidos no modelo de simulação, que permitem a avaliação da representatividade de cada tipo de consumidor:

- Equipamento Eléctrico
- Iluminação
- Equipamentos de AVAC
- Ventiladores

No gráfico 5 é visível o peso anual do consumo de equipamentos e de iluminação, cada um dos sectores com 32% do consumo global do edifício, representando a ventilação juntamente com o AVAC 36% do consumo total. Esta

análise permite evidenciar quais os sectores (consumidores) sobre os quais mais compensará aplicar as medidas de racionalização energética.

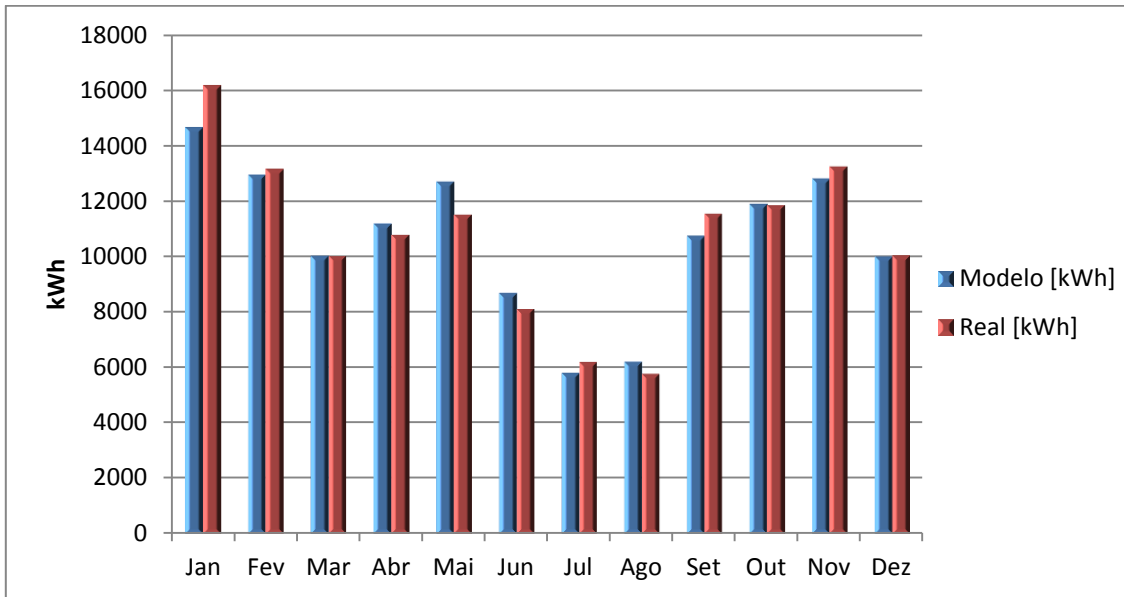


Gráfico 4 – Comparação dos consumos mensais Reais e do Modelo em kWh

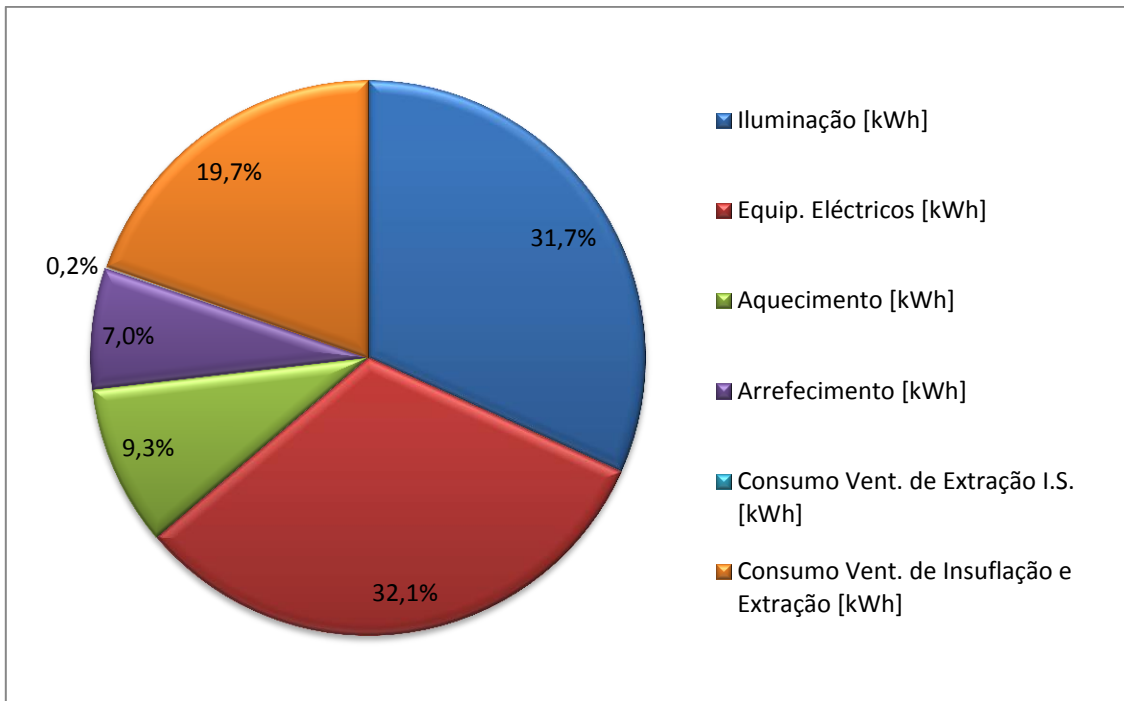


Gráfico 5 – Desagregação dos consumos eléctricos anuais do Modelo em kWh

4.2 Medidas de Racionalização Energética

“O Plano de Racionalização Energética (PRE) corresponde a um conjunto de medidas de racionalização energética, para a redução de consumos ou de custos de energia, elaborado na sequência de uma auditoria energética, organizado e seriado com base na sua execução e na sua viabilidade económica.

A utilização racional de energia visa a obtenção das mesmas condições de conforto, e de produção de bens e serviços através de processos tecnológicos mais eficientes e consequentemente com menos consumos que os originais.” (Francisco Lamas, 2012)

De seguida são apresentadas as várias medidas de eficiência energética implementadas no edifício escolar:

- Medida de melhoria A – *DayLighting*: consiste na implementação de sensores nas salas de aula para auto-regulação da iluminação artificial;
- Medida de melhoria B – Dispositivos de sombreamento: aplicação de *louvre*s nas janelas com orientação a sul;
- Medida de melhoria C – Alteração dos caudais de ar novo: cálculo pelo método prescritivo e analítico dos caudais de ar novo segundo o novo SCE;
- Medida de melhoria D – Incorporação de todas as medidas de melhoria estudadas.

Uma das melhorias de eficiência energética que se pensou aplicar no edifício escolar foi a tentativa de realizar um *freecooling* com a alteração dos horários de insuflação de ar, ou seja, consistia na avaliação do impacto da ventilação mecânica nocturna nas necessidades de arrefecimento. Actualmente o edifício escolar possui um horário de ventilação que funciona das 8h às 20h. A medida de melhoria através do *freecooling* incluía colocar o ar dentro dos espaços durante a noite com horários alternativos (4-6h e das 8h-19h ou 5h-12h e das 14h-16h, entre outros) uma vez que a temperatura está mais baixa durante a noite nos períodos de Verão, para que durante o dia as necessidades de arrefecimento fossem menores.

Após uma revisão da dissertação (Silva, Carlos Diogo Costa da (2011)), que utilizou a mesma estratégia igualmente num edifício escolar, foi possível constatar que

este tipo de estratégia nos edifícios escolares é pouco vantajosa, uma vez que as salas de aula nos meses de Julho e Agosto estão fechadas, meses em que o arrefecimento seria mais solicitado.

Verificou-se também que a utilização de ventilação mecânica nocturna apresentava melhorias a nível do conforto térmico, conseguido apenas através de um aumento da utilização dos ventiladores, sendo que, os consumos relativos ao sistema de arrefecimento sofriam uma redução na ordem dos 15% e o consumo de ventilação um aumento na ordem dos 10%. A diferença entre a energia que não se gastava para o arrefecimento, face a que se gastava para ventilar os espaços era na ordem dos 10% o que se traduzia num aumento de 2% no consumo total de energia.

Conclui-se assim que a solução é pouco viável para edifícios escolares em Portugal Continental uma vez que estes edifícios estão maioritariamente desocupados na altura da estação do ano onde necessitam de um maior consumo de arrefecimento. Uma vez que os consumos de aquecimento das escolas face ao consumo de arrefecimento são manifestamente mais elevados, a redução de consumos relativamente ao arrefecimento não tem um impacto tão significativo no consumo global do edifício. Pode dizer-se ainda que, com esta medida consegue-se melhorar a qualidade do ambiente interior, principalmente ao nível do conforto térmico, mas em termos de redução de consumo tem pouco impacto, ou nenhum.

4.2.1 Medida de Melhoria A – *Daylighting*

Esta solução consiste na instalação de um sensor nas zonas das salas de aula para controlo da iluminação artificial em função da disponibilidade de iluminação natural, ou seja, a iluminação artificial só é ligada quando for necessário ou quando a luz solar não é suficiente.

4.2.2 Medida de Melhoria B – Sombreamento dos envidraçados do quadrante Sul

Com esta solução são colocadas palas de sombreamento, designadas de *louvres*, nos envidraçados situados a sul de forma a reduzir o consumo de arrefecimento. Ao aplicar os dispositivos de sombreamento, estes vão impedir a penetração dos raios solares indesejados dentro dos espaços, o que faz com que as necessidades de

aquecimento tenham um ligeiro aumento, logo, a aplicação desta medida será efectuada de uma forma que os consumos de aquecimento se mantenham e que os consumos de arrefecimento sejam reduzidos.

4.2.3 Medida de Melhoria C – Implementação de novos caudais conforme nova regulamentação

Através desta alteração pretende-se que, com o cálculo dos caudais de ar novo através do novo regulamento de Certificação Energética em Edifícios (Portaria n.º353-A/2013, SCE 2013) as necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de ventilação baixem significativamente.

O cálculo do método prescritivo encontra-se no Anexo D. Para efectuar os cálculos através do método analítico utilizou-se uma ferramenta em Excel (Anexo B) disponibilizada pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil).

Para o método analítico foi admitido um perfil tipo de ocupação para as salas de aula que podemos observar no gráfico 6. Já para os espaços administrativos foi criado outro tipo de perfil (gráfico 7).



Gráfico 6 – Perfil de ocupação tipo: salas de aula

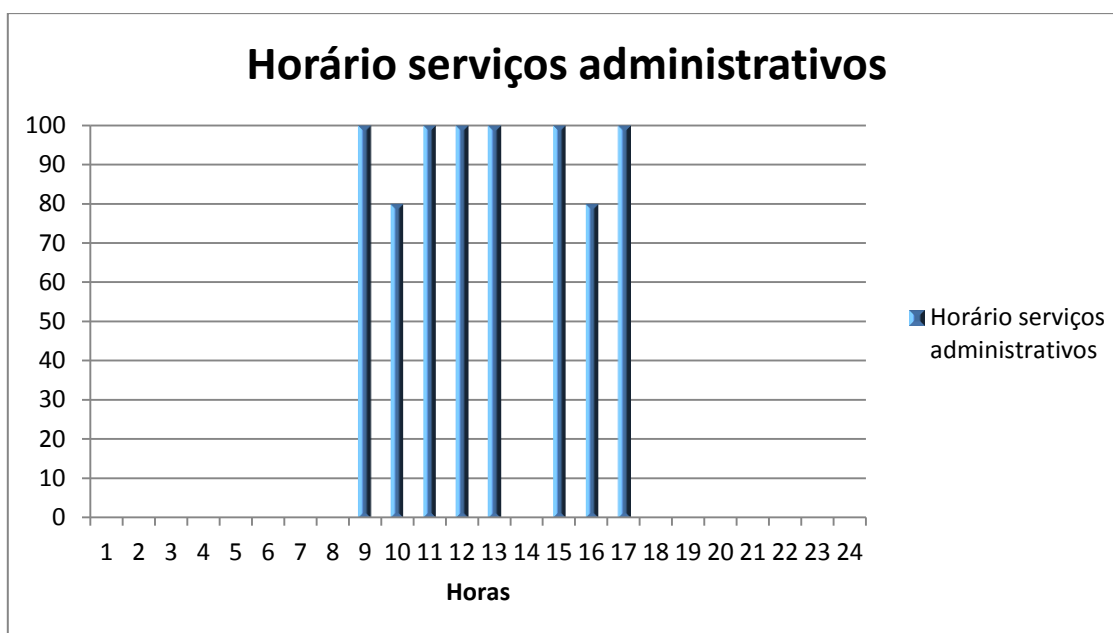


Gráfico 7 – Perfil de ocupação tipo: serviços administrativos

4.2.4 Medidas de Melhoria D – Incorporação de todas as medidas de melhoria estudadas

Este estudo consiste em avaliar o impacto da implementação de todas as medidas de melhoria referidas anteriormente. Após uma análise às várias oportunidades de melhoria identificadas, é avaliado o efeito conjunto considerando as pedidas que, individualmente, mostraram ter impacto sensível na redução dos consumos de energia do edifício.

4.3 Análise e Discussão de Resultados

4.3.1 Medida de Melhoria A - *Daylighting*

Feita a simulação com a solução B pode verificar-se no gráfico 8 que com a implementação de sensores de iluminância nas salas de aula, consegue-se uma redução no consumo total anual de energia de 5% (Anexo A).

Comparando o gráfico do modelo (gráfico 4) com o gráfico 8 constata-se que a redução no consumo de iluminação é mais notória nos meses de Março, Abril, Maio,

Setembro e Outubro visto que nestes meses o número de horas do sol é superior aos restantes meses.

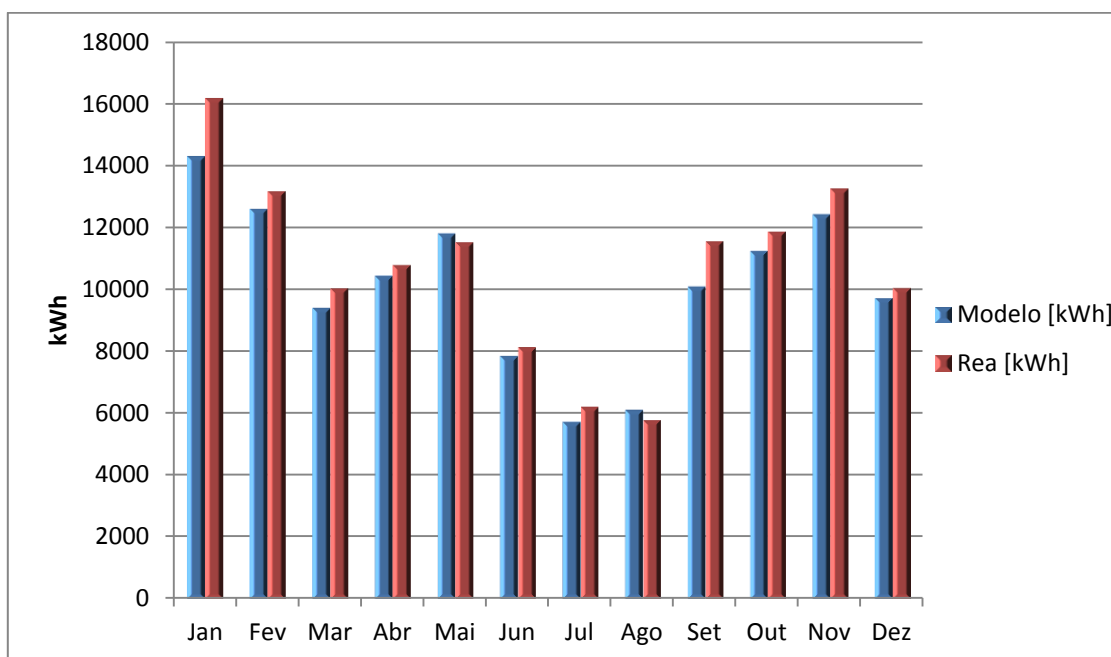


Gráfico 8 – Medida de melhoria com a opção Daylight

Esta solução tem custos associados à implementação dos sensores. Consultando o orçamento apresentado no Anexo A, verifica-se que cada sensor instalado tem um custo de 126,23€ com mão-de-obra incluída. Foram considerados 17 sensores em 17 salas de aula o que faz um custo total de 2145,91€.

Para realizar um estudo de amortização efectuou-se o cálculo do Período de Retorno Simples (PRS) que consiste na divisão do custo inicial sobre o retorno anual. Fazendo uma média ponderada (hora de ponta e hora de cheia) do preço do kWh para média-tensão obteve-se o preço de 0,12 € por kWh de consumo. Calculando o PRS o período de retorno é de apenas 2 anos e 7 meses.

4.3.2 Medida de Melhoria B – Dispositivos de Sombreamento

Feitas quatro simulações com diferentes ângulos e comprimentos de *louvres* nos envidraçados com orientação a Sul constatou-se que esta medida de melhoria não justifica o investimento, uma vez que, com a 1.ª simulação (gráfico 9) (8 *louvres*, com um ângulo de 15°, 0,3 m de espaçamento entre *louvres* e cada *louvre* com 0,7 m de

comprimento) verificou-se que as necessidades de aquecimento sofriam um aumento de 12% em relação ao Modelo Base, e as necessidades de arrefecimento uma redução de 17%. Como as necessidades de arrefecimento têm uma diferença de 33% face às necessidades de aquecimento, o consumo anual fica praticamente igual ao Modelo Base, logo não se justifica esta opção. Na tentativa de reduzir as necessidades de aquecimento, realizou-se uma 2.^a simulação (gráfico 9) (4 *louvres* com um ângulo de 30°, 0,3 m de espaçamento entre *louvres* e 0,3 m de comprimento). Constatou-se que as necessidades de arrefecimento tiveram um ligeiro aumento (3,6%) relativamente à primeira simulação e o aquecimento desceu 5%. Realizou-se ainda uma 3.^a simulação (gráfico 9) com as mesmas características da 2.^a, apenas com a diferença do número de *louvres* por envidraçados (3 *louvres*) e o resultado foi exactamente igual ao da 2.^a simulação. Por último, realizou-se uma 4.^a simulação (gráfico 9) com 8 *louvres* a preencher todo o envidraçado e com as mesmas características da 3.^a simulação (30° de inclinação, 0,3m espaçamento e 0,3 m de comprimento) e verificou-se que tanto as necessidades de aquecimento como as de arrefecimento ficavam exactamente iguais às do Modelo Base com ligeiras diferenças, o que não traduzia nenhuma alteração no consumo anual do edifício relativamente ao Modelo Base. As tabelas com todos os cálculos associados a este estudo encontram-se no Anexo A.

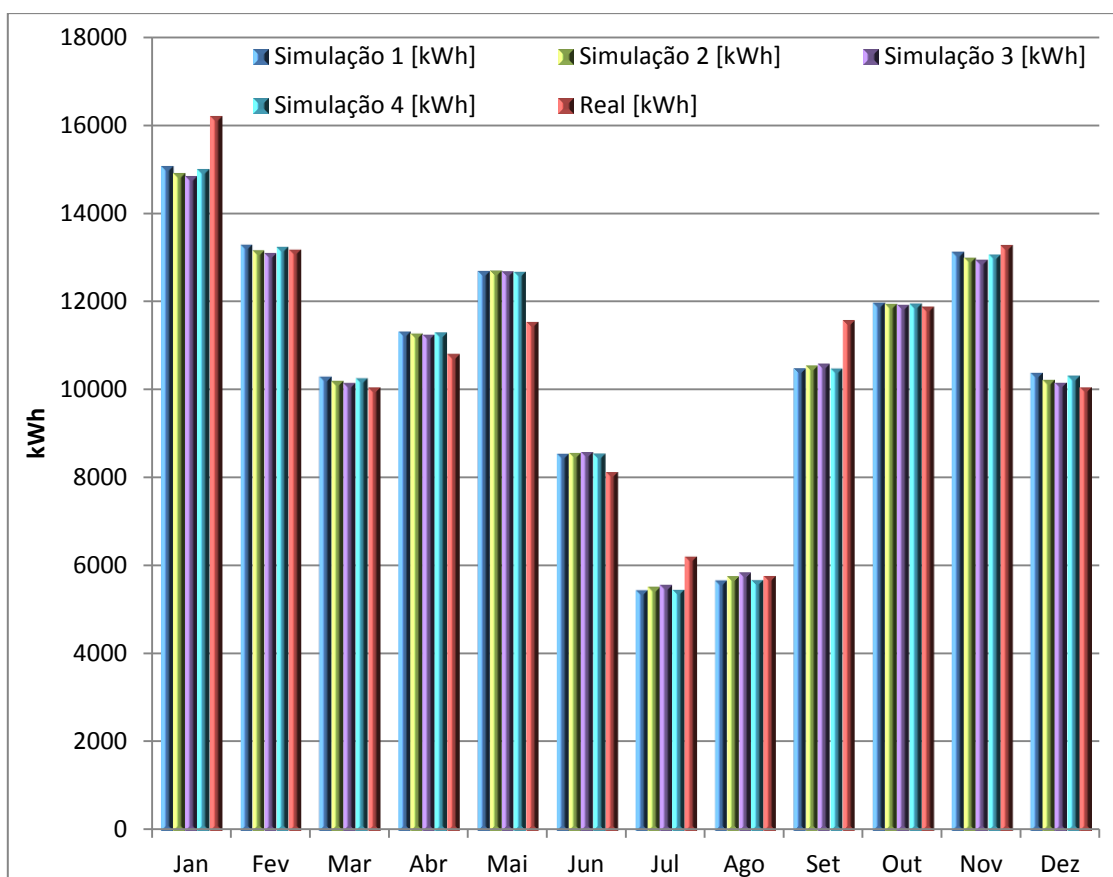


Gráfico 9 – Simulações com implementação de dispositivos de sombreamento, *louvres*

4.3.3 Medida de Melhoria C – Alteração de caudais

Através do método prescritivo os caudais de ar novo sofreram uma redução significativa (28%, gráfico 10) relativamente aos caudais de projecto. Alterando os caudais no programa DesignBuilder zona a zona e efectuada a simulação verificou-se uma redução de 7% no consumo anual (gráfico 11).

Com o cálculo de caudais através do método analítico a redução face aos caudais de projecto é superior (42%, gráfico 10), o que se traduz num decréscimo do consumo anual do edifício maior, relativamente ao método prescritivo, uma vez que, as necessidades quer de arrefecimento, quer de aquecimento vão ser menores e por sua vez a potência dos ventiladores também.

Como se pode verificar no gráfico 11 com os caudais calculados através do método analítico consegue-se uma redução de 12% no consumo anual da escola (Anexo A).

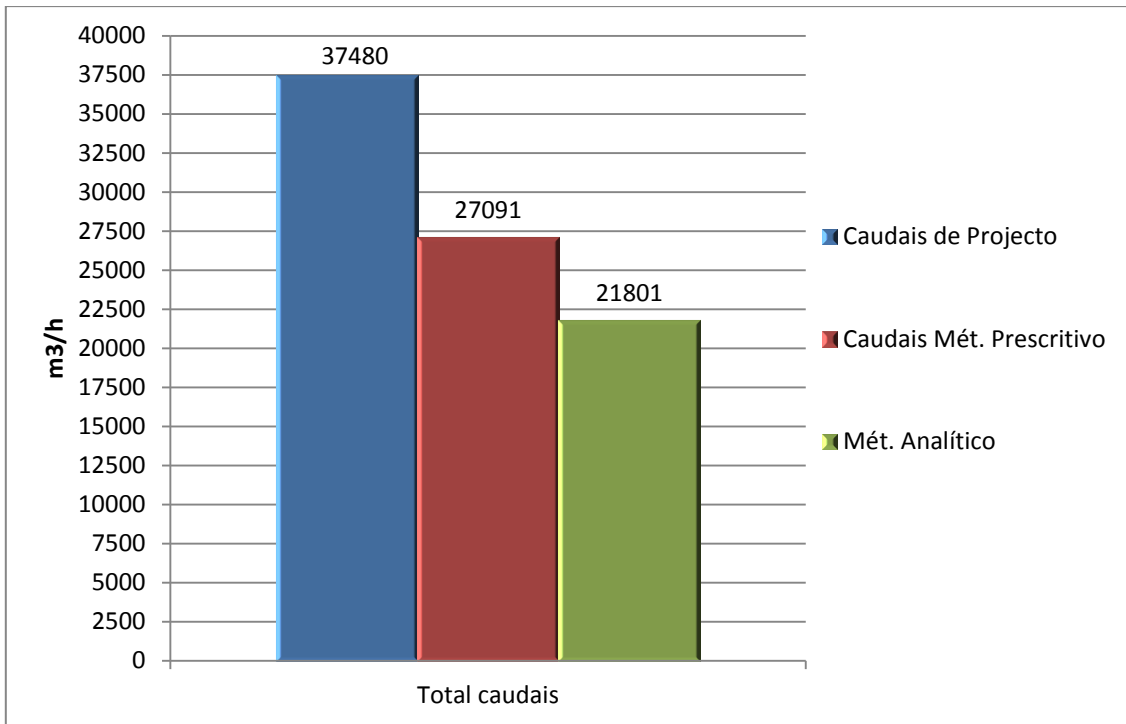


Gráfico 10 – Diferença de caudais

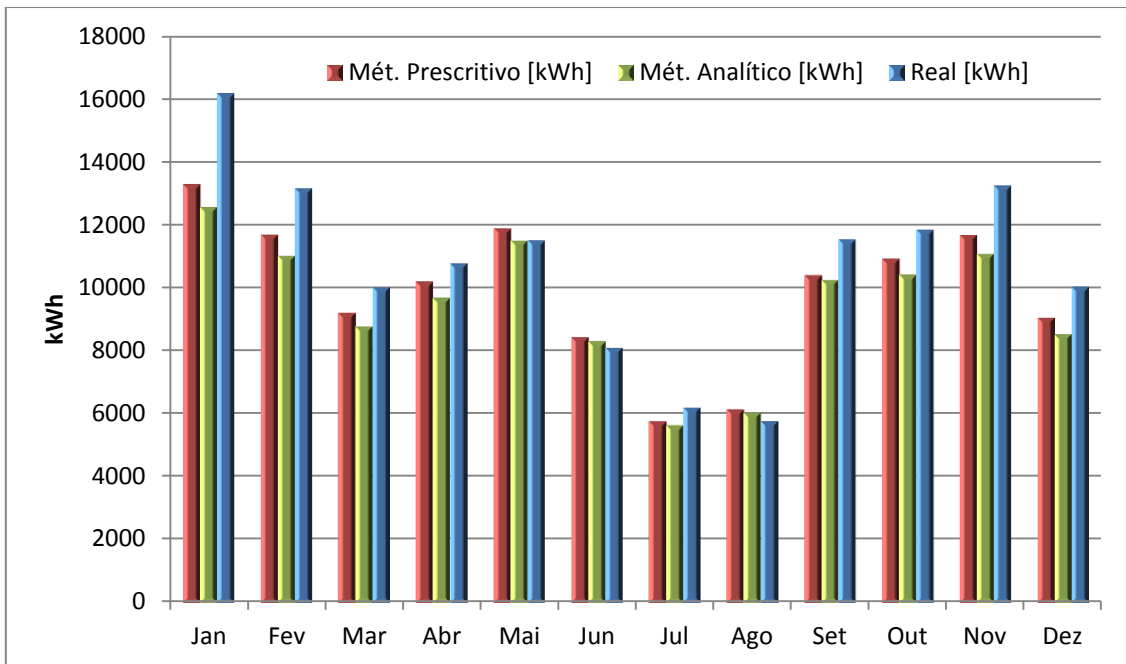


Gráfico 11 - Resultados com a implementação dos novos caudais de ar novo

4.3.4 Medida de Melhoria D – Incorporação das medidas A e C

Analizadas todas as soluções de eficiência energética anteriormente apresentadas verifica-se que apenas a melhoria A (*daylighting*) e C (método analítico) têm impactos significativos na redução dos consumos anuais da escola. Posto isto, a solução D consiste em aplicar essas soluções conjuntas e apurar os resultados. Como se pode ver no gráfico 12 estas duas soluções em simultâneo traduzem-se numa redução de 18% no consumo anual (Anexo A).

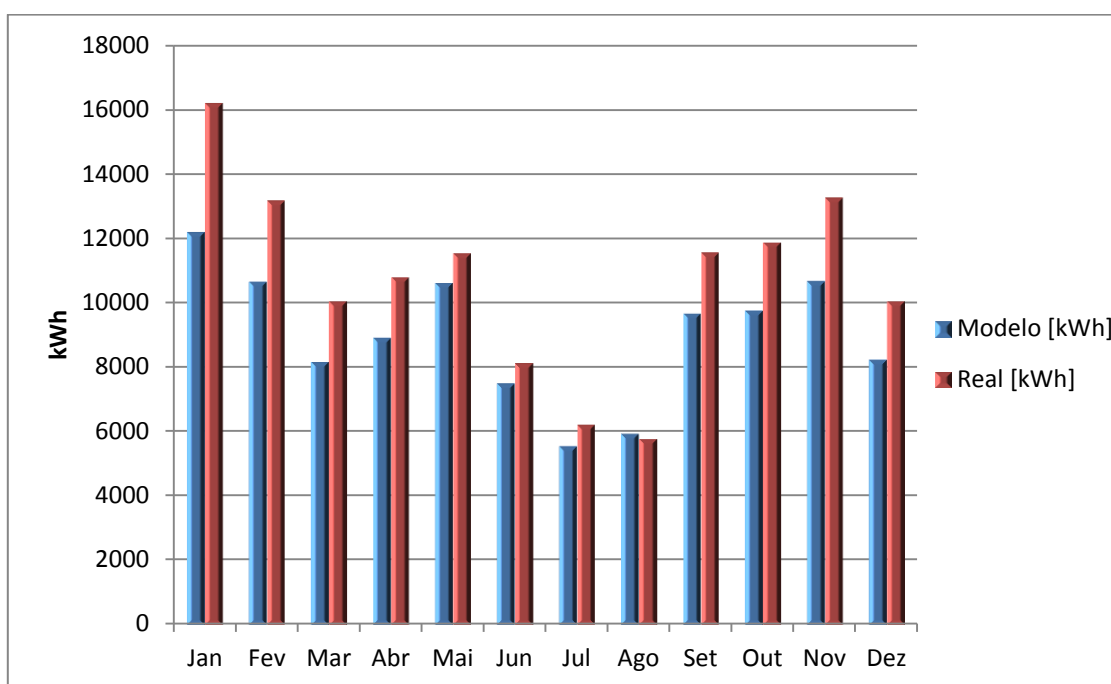


Gráfico 12 – Incorporação da Medida A e C (método analítico)

4.3.5 Classificação Energética

Aplicando as fórmulas (1) e (2) apresentadas no subcapítulo 2.4 obtém-se a classificação energética para o edifício (Modelo Base): CLASSE B. (Cálculos no Anexo D)

Realizada a medida de melhoria D foi calculado novamente o IEE_s da mesma forma como foi calculado para obter a classe energética do edifício (formula (1)), mas com os dados obtidos da simulação D (com as medidas de melhoria aplicadas), sendo o

IEE_{ref} igual ao calculado anteriormente. Aplicando novamente a fórmula (2) para calcular a nova classe energética com as medidas de melhoria implementadas, obtém-se: CLASSE A. (Anexo D)

Capítulo V - Conclusões

Na dissertação apresentada estudaram-se e analisaram-se quatro estratégias de eficiência energética com o objectivo de reduzir o consumo energético de um edifício escolar. Para alcançar tal objectivo, foram definidas várias medidas de melhoria do desempenho energético. Na primeira medida consideraram-se sensores de regulação de luminosidade nas salas de aula com o objectivo de racionalizar o consumo de energia para iluminação artificial. Como segunda opção de melhoria foram colocados sombreamentos designados de *louvres* nos envidraçados orientados a sul na tentativa de reduzir os consumos de arrefecimento. Por último, na terceira medida foram calculados através de dois métodos (prescritivo e analítico) presentes no novo regulamento (SCE), novos caudais de ar novo com o objectivo de reduzir os consumos de arrefecimento e aquecimento e consequentemente da ventilação mecânica.

Através da aplicação de sensores para auto-regulação da iluminação artificial, os resultados são consideráveis, pois consegue-se uma redução de 5% no consumo anual do edifício. Esta medida tem custos associados, mas fazendo o cálculo do PRS constata-se que em apenas 2 anos e 7 meses o investimento fica pago, o que significa que a medida é bastante eficaz.

Na situação onde se considerou a aplicação de sombreamento nos envidraçados orientados a sul verificou-se que a sua implementação não conduz a quaisquer reduções no consumo energético, uma vez que com esta solução ao reduzir-se os consumos de arrefecimento, aumentam-se os consumos de aquecimento, pois os dispositivos de sombreamento ao impedirem a penetração da radiação solar na estação de aquecimento, provoca um aumento das necessidades de aquecimento.

Com a realização do terceiro estudo (cálculo de novos caudais) confirmou-se que é uma estratégia a aplicar, uma vez que traz reduções significativas nos consumos. Realizaram-se duas simulações, uma vez que foram calculados os novos caudais através de dois métodos (prescritivo e analítico), confirmando-se que através do método analítico consegue-se uma redução de mais 5% em relação ao método prescritivo.

Conclui-se assim que a aplicação das medidas de melhoria A e C (método analítico) na escola secundária de Montemor-o-Velho, constituem soluções para a redução de 18% dos consumos de energia, com custos associados modestos. Verifica-se

também que com estas medidas de eficiência, o edifício pode alterar a sua classe energética de B para A.

Referências

ADENE – Agência para a energia. Disponível em: www.adene.pt [Acesso 9 Dezembro 2013].

Alfano, F.R.A.A., Bellia, L., Boerstra, A., van Dijken, F., Ianniello, E., Lopardo, G., Minichiello, F., Romagnoni, P. e da Silva, M.C.G. (2010). *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas*. Manual REHVA nº13, Ingenium Edições. Lda.^a.

ASHRAE - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. - Atlanta: ASHRAE Standard 55, 2013.

ASHRAE - Ventilation for acceptable Indoor Air Quality // Standard 62.1.-: American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning., Atlanta, 2013.

Silva, Carlos Diogo Costa da (2011). *Análise dos consumos energéticos de um edifício escolar em relação aos parâmetros de ventilação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: www.dem.uc.pt [Acesso 4 Novembro 2013].

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em. www.dgeg.pt [Acesso 13 Dezembro 2013].

DIRECTIVE 2002/91/EC: of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 (on the energy performance of buildings).

EDP – Energias de Portugal. Disponível em: www.edp.pt [Acesso 20 Janeiro 2014].

Fanger P.O. (1970) – “Thermal Comfort”. Danish Thechnical Press.

Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, EnergyPlus, 2012.

ISO 8995:2002 – *Lighting of Indoor work places*. CIE (Geneve: International Standards Organization).

ISO 7730:2005 - *Ergonomics of the thermal environment* - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (Geneve: International Standards Organization).

La Comodid Térmica – *Thermal Comfort* - Copyright © 1997 INNOVA Air Tech Instruments A/S, Denmark [Brüel &Kjær] (slides obtidos nas aulas de Qualidade do Ar Interior).

Lamas, Francisco (2012). *Simulação Dinâmica Detalhada da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Dr. Alfredo Ferreira Nóbrega Júnior*. U-Factor, Engineering and Energy Consulting, Lda., Aveiro.

Pina dos Santos, Carlos A., (2006) - “Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da Envolvente dos Edifícios”. Lisboa LNEC ITE-50.

Parque Escolar. Disponível em: www.parque-escolar.pt [Acesso 5 Janeiro 2014].

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (2006). Decreto-Lei nº 80/2006.

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios: Decreto-Lei nº 79, 2006.

Santos, Gonçalo Jorge Rodrigues dos (2012). *Estudo e análise de estratégias de arrefecimento para correcção e melhoria das condições de conforto num edifício escolar*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.

SCE - Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios., (2013). Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto.

ANEXOS¹

¹ Todos os Anexos encontram-se em formato digital