



Dissertação

Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Energia e Automação

***Influência de um Sistema de Gestão Técnica nos
Consumos de um Edifício de Serviços***

Rui Filipe Simões

Leiria, Novembro de 2013



Dissertação

Mestrado em Engenharia Electrotécnica - Energia e Automação

***Influência de um Sistema de Gestão Técnica nos
Consumos de um Edifício de Serviços***

Rui Filipe Simões

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Luís Miguel Pires Neves,
Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Novembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar o meu agradecimento ao orientador o Professor Doutor Luís Neves, pela inestimável colaboração, disponibilidade e dedicação demonstrada no decorrer da elaboração da presente dissertação. Por isso, lhe expresso o meu enorme reconhecimento e gratidão.

Agradeço também ao Professor Doutor Cristin Caracaleanu, pelos bons conselhos e apoio prestado.

Finalmente, quero agradecer à minha família e aos meus amigos pela sua compreensão e apoio em todo o momento.

RESUMO

Os edifícios representam 40% do consumo de energia total na União Europeia. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética e as emissões de gases com efeito de estufa.

A recente plataforma legislativa, designada globalmente por Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), transpôs para Portugal a Directiva Europeia 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios. Neste âmbito, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) impõe, para os edifícios com área útil superior a 1000 m², a sua simulação térmica dinâmica e multizona utilizando *softwares* acreditados pela norma ANSI/ASHRAE 140-2004.

Pretende-se com esta dissertação fazer uma análise comparativa entre vários casos representativos da possibilidade de implementação de sistemas de gestão técnica de Edifícios com diferentes funcionalidades, por forma a poder-se avaliar os potenciais de poupança de cada um deles.

A escolha dos diferentes casos estudados permitiu concluir que a actuação sobre o controlo de alguns sistemas do edifício pode ter influência indirecta nos consumos de outros sistemas, tornando-se necessário encontrar o equilíbrio entre sistemas de forma a alcançar o óptimo.

Após comparação dos resultados obtidos nas simulações dinâmicas, foi possível concluir que, a implementação de um sistema de gestão técnica num edifício de serviços, tem uma influência bastante significativa no que respeita à redução de consumos energéticos, podendo alcançar reduções próximas dos 50%.

Palavras-chave:

Sistemas de Gestão Técnica, Eficiência Energética em Edifícios, Simulação Dinâmica

ABSTRACT

Buildings account for 40% of the total energy consumption in the European Union. Therefore, the reduction of energy consumption and the use of energy from renewable sources in the buildings sector constitute important measures needed to reduce energy dependency and greenhouse gases emissions.

The recent legislative packet designated by “Sistema de Certificação Energética de Edifícios” (SCE), transpose into national legislation the Community Directive (Directive 2002/91/EC) concerning the energy performance in buildings. In this context, the “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios” (RSECE) imposes for buildings with floor area over 1000 m² the need to perform thermal and dynamic multizone simulation using software certified by ANSI / ASHRAE 140-2004.

The objective of this thesis is then to make a comparative analysis of several representative cases of the possibility of implementing different types of management systems for buildings, with different features, in order to be able to evaluate the potential savings caused by each.

The different case studies showed that the control action on some systems of the building may have an indirect influence on the consumption of other systems, implying the need of a balance between systems in order to achieve an optimal result.

Comparing the results obtained in the dynamic simulations it was concluded that the implementation of a technical management system in a services building has a very significant influence, regarding the reduction of energy consumption, achieving reductions close to 50%.

Keywords:

Technical Management Systems, Energy Efficiency in Buildings, Dynamic Simulation

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJECTIVOS.....	2
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2	A EFICIÊNCIA NOS EDIFÍCIOS	5
2.1	CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE PORTUGAL	6
2.2	DIRECTIVA 2010/31/EU.....	8
2.3	REGULAMENTAÇÃO NACIONAL SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	10
2.3.1	<i>SCE</i>	13
2.3.2	<i>RSECE</i>	14
2.3.3	<i>RCCTE</i>	14
2.4	EDIFÍCIOS INTELIGENTES	15
2.4.1	<i>Revisão histórica</i>	16
2.4.2	<i>Exemplos de edifícios inteligentes</i>	17
2.4.3	<i>Organização de sistemas e serviços nos edifícios inteligentes</i>	20
2.4.4	<i>Vantagens e desvantagens dos edifícios inteligentes</i>	21
2.4.5	<i>Custos e retorno de capital</i>	21
3	SISTEMAS DE GESTÃO TÉCNICA.....	23
3.1	A AUTOMATIZAÇÃO LOCAL.....	24
3.2	OS SISTEMAS CENTRALIZADOS.....	25
3.2.1	<i>Sistema central único</i>	25
3.2.2	<i>Sistemas centrais especializados</i>	25
3.3	OS SISTEMAS DISTRIBUÍDOS HIERÁRQUICOS	26
3.4	OS SISTEMAS INTEGRADOS	28
3.5	PRINCIPAIS PROBLEMAS DAS SOLUÇÕES DE INTEGRAÇÃO ACTUAIS.....	30
3.5.1	<i>Solução fabricante único</i>	30
3.5.2	<i>Integração feita à medida</i>	31
3.6	TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE INTEGRAÇÃO	32
3.6.1	<i>Soluções baseadas em PPCA digitais</i>	32
3.6.2	<i>Soluções baseadas em RDIS</i>	34
3.6.3	<i>Soluções baseadas em redes de banda larga</i>	34
3.6.4	<i>Os sistemas de cablagem estruturada</i>	35
4	PROPOSTA METODOLÓGICA.....	39
4.1	SIMULAÇÃO DINÂMICA: <i>DESIGNBUILDER</i>	39
4.2	CRIAÇÃO DO MODELO	41

4.3	CARACTERIZAÇÃO DO MODELO.....	45
5	ESTUDO DE CASO.....	49
5.1	GENERALIDADES DO EDIFÍCIO.....	49
5.1.1	<i>Localização e funcionamento</i>	49
5.1.2	<i>Zona climática</i>	50
5.1.3	<i>Caracterização do edifício</i>	51
5.1.4	<i>Caracterização geral da instalação eléctrica</i>	52
5.1.4.1	Sistemas de iluminação.....	53
5.1.4.2	Sistemas informáticos.....	53
5.1.5	<i>Caracterização dos sistemas de AVAC</i>	54
6	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	55
6.1	CASO 1.....	55
6.2	CASO 2.....	56
6.3	CASO 3.....	57
6.3.1	<i>Caso 3.a</i>	57
6.3.2	<i>Caso 3.b</i>	58
6.4	CASO 4.....	60
6.5	COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES CASOS.....	61
6.6	OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	63
7	CONCLUSÕES.....	65
	BIBLIOGRAFIA.....	69
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de Certificado Energético de Edifício e respectiva classificação energética	12
Figura 2 – Classificação energética	12
Figura 3 – Edifício da AT&T (<i>Sony Center</i>).....	17
Figura 4 – Edifício da Lloyd’s.....	18
Figura 5 – Tagus Park	19
Figura 6 – Componentes de um Edifício inteligente	20
Figura 7 – Sistemas Centralizados Isolados	26
Figura 8 – Sistemas distribuídos hierárquicos	26
Figura 9 – Sistemas integrados.....	29
Figura 10 – Solução de integração com base num PPCA digital	33
Figura 11 – Solução de integração com base numa rede de grande largura de banda	35
Figura 12 – Estrutura típica de um sistema de cablagem estruturada.....	36
Figura 13 – Bloco construtivo do Piso 0	42
Figura 14 – Bloco construtivo do Piso 1	42
Figura 15 – Modelação geométrica do edifício	43
Figura 16 – Separador de configuração dos parâmetros de iluminação no <i>DesignBuilder</i>	46
Figura 17 – Separador de configuração dos parâmetros de actividade no <i>DesignBuilder</i>	47
Figura 18 – Serviços Centrais do IPLeiria.....	49
Figura 19 – Zonas climáticas de Portugal Continental (Inverno e Verão).....	50
Figura 20 – Vista exterior do edifício.....	51
Figura 21 – Aspecto dos sombreamentos	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros gerais definidos para os diferentes estudos de caso	48
Tabela 2 – Horário de Funcionamento do edifício dos Serviços Centrais	50
Tabela 3 – Área de fachadas do edifício dos Serviços Centrais em função da orientação	51
Tabela 4 – Consumos energéticos, custos e emissões de CO ₂ e	52
Tabela 5 – Características da bomba de calor.....	54
Tabela 6 – Desvios dos consumos face aos consumos reais.....	62
Tabela 7 – Índice de Eficiência Energética	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Importações no sector da energia em Portugal no ano 2010	6
Gráfico 2 – Consumo de Energia Primária em Portugal no ano 2010	7
Gráfico 3 – Energia Eléctrica produzida a partir de energias renováveis em Portugal no ano 2010	7
Gráfico 4 – Distribuição dos consumos de Energia Final por sectores em Portugal no ano 2010	8
Gráfico 5 – Distribuição percentual de edificios por classes	13
Gráfico 6 – Distribuição da potência instalada para iluminação por tipo de lâmpada	53
Gráfico 7 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1).....	55
Gráfico 8 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 1).....	56
Gráfico 9 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 2)	56
Gráfico 10 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 2)	57
Gráfico 11 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 3.a)	58
Gráfico 12 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 3.a)	58
Gráfico 13 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 3.b)	59
Gráfico 14 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 3.b)	59
Gráfico 15 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 4)	60
Gráfico 16 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 4)	61
Gráfico 17 – Consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo por sector, para cada caso	61

SIGLAS E ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> (Modo de Transferência Assíncrona)
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Comunidade Europeia
EIBG	<i>European Intelligent Building Group</i> (Grupo Europeu para os Edifícios Inteligentes)
EPBD	Directiva do Desempenho Energético dos Edifícios
FDDI	<i>Fiber Distributed Data Interface</i> (Interface de Dados por Fibra Distribuída)
GEE	Gases Efeito de Estufa
IBI	<i>Intelligent Buildings Institute</i> (Instituto para os Edifícios Inteligentes)
IBSC	<i>Intelligent Building Study Committee</i> (Comité de Estudos para os Edifícios Inteligentes)
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IPL	Instituto Politécnico de Leiria
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede de Área Local)
PLC	<i>Programmable Logic Control</i> (Controlo por Lógica Programável)
PPCA	Posto Privado de Comutação Automática
PPCIS	Posto Privado de Comutação com Integração de Serviços
QAI	Qualidade de Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006
RDIS	Rede Digital com Integração de Serviços
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/2006
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 78/2006
TFT	<i>Thin-Film Transistor</i> (Transístor de Película Fina)
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
WAN	<i>Wide Area Network</i> (Rede de Área Ampla)
WLC	<i>Wired Logic Control</i> (Controlo por Lógica Cablada)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

No último século, o desenvolvimento económico baseou-se na utilização de fontes de energia abundantes e baratas, proporcionadas pelos combustíveis fósseis. Ainda que, nos últimos 40 anos, desde a Crise do Petróleo de 1973, o mundo inteiro tenha vindo a ganhar consciência da existência de limites para o crescimento, devido à limitação das matérias-primas e aos efeitos da actividade humana sobre o ambiente.

A crise ambiental global que se está a viver, originada em grande parte pela actividade humana, tem sido um resultado evidente da utilização intensiva dos combustíveis fósseis, devido ao impacto no meio ambiente que acarreta a sua combustão, nomeadamente a emissão de gases poluentes, com particular relevância para o dióxido de carbono (CO₂), que tem um papel importante no efeito de estufa sobre a superfície terrestre, conduzindo a inúmeras alterações climáticas. Por outro lado, a instabilidade nos preços da energia derivada da ameaça constante de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, está a provocar um impacto negativo e sem precedentes nas economias mundiais, levando de uma forma geral à degradação da qualidade de vida. A pressão por resultados financeiros que se vive actualmente, fruto do panorama económico mundial, leva à necessidade de utilização da energia de uma forma mais consciente.

A nova legislação no âmbito da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios, em particular o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), define um conjunto de novas exigências ao nível da gestão da energia e da gestão da manutenção das instalações. De facto, o sector dos edifícios é, de forma agregada, um dos maiores consumidores de energia final. Além disso, prevê-se a continuidade do crescimento da população mundial sendo imprescindível alcançar um Desenvolvimento Sustentável, bem como, mitigar os problemas relacionados com as alterações climáticas e a poluição. Torna-se evidente a necessidade de garantir que este sector melhore o seu desempenho energético-ambiental. Surge por isso a necessidade de

implementação de sistemas integrados para a gestão de edifícios com o intuito de otimizar a utilização dos diferentes recursos inerentes aos edifícios – iluminação, aquecimento, ventilação, bombagem, entre outros. Este tipo de sistemas tem como principais objectivos a automatização de processos e a flexibilização das tarefas de controlo e supervisão. Os resultados que se esperam obter fruto desta optimização são a redução de custos, a redução da poluição inerente, a eliminação da mão-de-obra relacionada com processos de manutenção e a obtenção de certificados energéticos.

1.2 Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo o estudo de optimização da eficiência energética de um edifício dedicado aos serviços, através da implementação de um sistema de gestão técnica evoluído, recorrer-se-á a um dos edifícios dos Serviços Centrais pertencente ao Instituto Politécnico de Leiria (*IPL*).

Para tal, efectuar-se-á uma análise do desempenho do edifício através da realização de uma série de simulações que avaliem as potencialidades da racionalização de consumos de energia e da introdução de energias renováveis de vários tipos que possam traduzir-se em soluções técnico-económicas viáveis garantindo um adequado conforto ambiental.

A investigação que se propõe consistirá no desenvolvimento de um modelo baseado no estudo de optimização da eficiência energética de um Edifício dos Serviços Centrais, através da implementação de diversas opções controláveis por um sistema de gestão técnica evoluído, tais como sistemas de aproveitamento de energias renováveis e outras tecnologias que permitam a utilização racional de energia, sem descurar a garantia de condições adequadas de conforto térmico e qualidade do ar interior. A investigação em desenvolvimento pretende servir também de ferramenta para avaliação de múltiplos aspectos ligados ao edifício que passam pela verificação de aspectos construtivos, análise energética e condições de conforto.

Pretende-se avaliar o desempenho do edifício ao nível construtivo através da simulação do mesmo, avaliando a utilização de sistemas de gestão técnica.

1.3 Organização Da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. O presente capítulo identifica o contexto do trabalho, caracterizando os principais objectivos do mesmo, assim como a metodologia utilizada.

No capítulo 2 são caracterizados os consumos de energia a nível nacional, com especial atenção para os edifícios, sendo apresentadas as directivas europeias e a legislação nacional que regula este sector em particular.

São ainda apresentados alguns conceitos sobre os edifícios inteligentes, acompanhados de uma pequena revisão histórica. Por fim apresentam-se os objectivos, as vantagens, as inconveniências, o custo e o retorno de capital investido nos edifícios inteligentes.

O capítulo 3 aborda a temática dos Sistemas de Gestão Técnica, fazendo referencia aos principais tipos de arquitecturas e soluções existentes. Neste capítulo são também apresentados os principais problemas das soluções actuais, bem como as tendências de evolução de soluções nesta área.

No capítulo 4 aborda a simulação térmica do edifício efectuadas com recurso ao programa *DesignBuilder*, sendo apresentados cinco cenários a estudar. É feita uma breve introdução ao programa utilizado, é explicado como foi construído o modelo e são exibidos os dados de calibração implementados para estudo dos cenários criados.

A caracterização do edifício de serviços escolhido como estudo de caso para esta dissertação é efectuada no capítulo 5. Neste ponto é apresentada a localização do edifício, a sua zona climática e os horários de funcionamento do mesmo. São ainda caracterizados os sistemas de iluminação, sistemas informáticos e de climatização.

No capítulo 6 é feita a análise dos resultados obtidos em função das simulações efectuadas. Para cada caso é feita uma análise comparativa com o modelo de calibração, fazendo-se no final uma comparação entre todos os casos simulados de forma a obter uma análise global.

Neste capítulo é ainda feito um levantamento de algumas oportunidades de melhoria para o edifício.

No capítulo 7 é feita a análise das principais conclusões desta dissertação, indicando-se os resultados mais significativos e propondo-se desenvolvimentos futuros.

2 A EFICIÊNCIA NOS EDIFÍCIOS

O crescimento populacional, afecta em quantidade e em composição a procura directa de energia, através do seu impacto sobre o crescimento e desenvolvimento económico. Está estimado que, para o ano de 2050, a população mundial atingirá cerca de 10 000 milhões de habitantes, o que, como se pode entender, causará um impacto ambiental enorme, estimado em oito vezes superior ao actual (OECD/IEA, 2007), (OECD/IEA, 2008).

No contexto de todos os sectores de utilização final, os edifícios representam o maior do sector, consumindo cerca de 40% do total das necessidades de energia final na Europa (BPIE, 2011).

Este é assim claramente, um sector onde a incorporação dos princípios do Desenvolvimento Sustentável pode fazer a diferença, com destaque na eficiência energética e preservação de recursos naturais, bem como na utilização de novas tipologias e materiais de construção com menor impacto ambiental (Lauria, 2007).

Embora a qualidade da construção, quer relativamente a materiais e equipamentos, quer relativamente a decisões tais como a orientação solar, tenham obviamente grande responsabilidade no excessivo consumo de energia, existe um grande potencial de poupança associado ao modo como os equipamentos são usados e à eliminação de muito desperdício resultante de comportamentos descuidados ou displicentes.

Existem inúmeras soluções para melhorar a eficiência energética dos edifícios. Com algumas pequenas intervenções em edifícios, é possível poupar até 30-35% de energia, mantendo as mesmas condições de conforto (Miller, 2009).

Numa óptica de eficiência energética é urgente incentivar a integração dos princípios de racionalização de energia nos edifícios em construção e em reabilitação para evitar que os consumos energéticos aumentem drasticamente.

Várias tecnologias recentemente desenvolvidas (por exemplo, janelas de alto desempenho com isolamento por vácuo, painéis de alto desempenho, bombas de calor reversíveis), quando combinadas com *design* solar passivo integrado, podem conseguir

reduções de 80 % no consumo de energia e emissões de gases efeito de estufa (GEE). Uma série de outras tecnologias estão em desenvolvimento (por exemplo os sistemas integrados de controlo inteligente) que, com novas pesquisas, desenvolvimento e demonstração, poderia ter um impacto cada vez maior durante as próximas duas décadas. A adopção em larga escala de muitas destas tecnologias, será dependente da rápida demonstração comercial e implantação. Esta terá de incluir a formação de profissionais numa abordagem integrada para a concepção e utilização de combinações de tecnologias (OECD/IEA, 2008).

2.1 Caracterização Energética De Portugal

Não se regista actualmente em Portugal, a extracção de qualquer produto energético de origem fóssil. Desta forma, as energias renováveis, começam a assumir um papel extremamente importante já que representam a totalidade da produção doméstica de energia (DGEG, 2009), (Lauria, 2007).

O petróleo domina o fornecimento de energia primária. O gás natural apareceu em 1997 e tem vindo a ocupar um lugar cada vez mais significativo no fornecimento de energia e na produção de electricidade. A produção de electricidade depende em grande parte da energia hidro-eléctrica, que apresenta variações anuais significativas. Há ainda, o carvão que também desempenha um papel importante no *mix* eléctrico nacional.

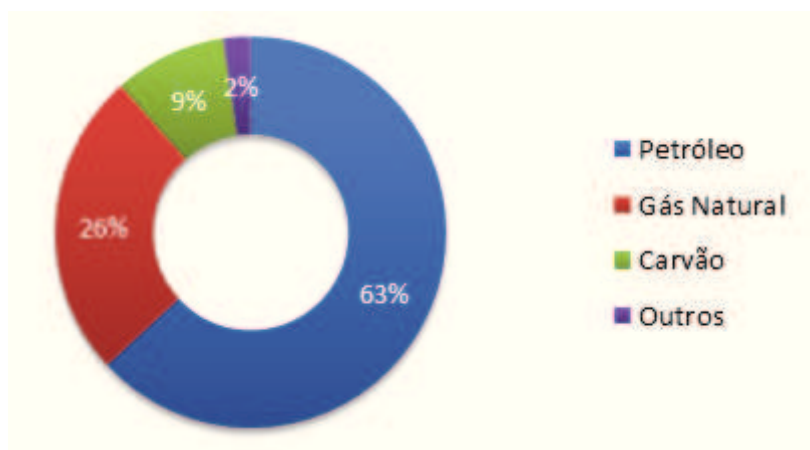


Gráfico 1 – Importações no sector da energia em Portugal no ano 2010

A figura abaixo traduz o panorama nacional no que respeita ao consumo de energia primária, apresentando o peso relativo de cada uma das fontes energéticas. O petróleo e o carvão são fontes de energia primária, cuja contribuição para o consumo nacional tem

vindo a diminuir, devido à introdução do gás natural e ao elevado impacto do carvão nas emissões de CO₂ (DGEG, 2011).

As fontes de energia renovável atingiram os 24 % do consumo total de energia primária em 2010.

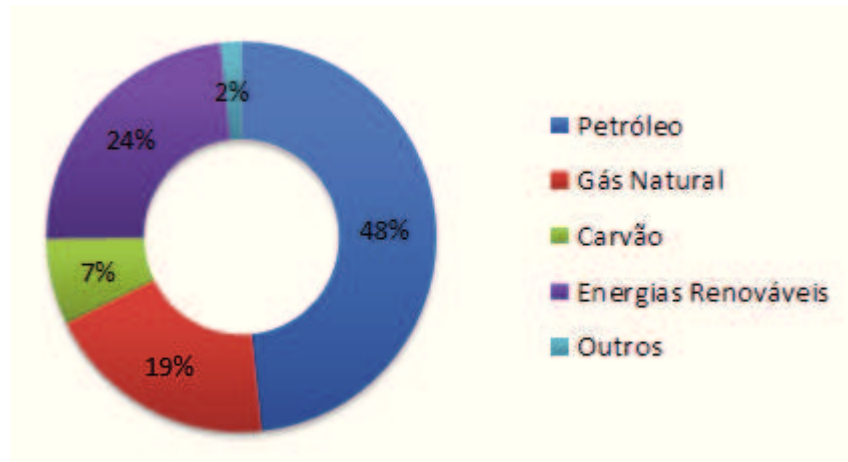


Gráfico 2 – Consumo de Energia Primária em Portugal no ano 2010

No que respeita à produção de energia a partir de fontes de energia renovável, a potência instalada tem vindo a aumentar. Em 2010, os valores eram de 4917 MW de energia hídrica, 712 MW em biomassa, 3912 MW em eólica, 30 MW em geotérmica e 134 MW em fotovoltaica.

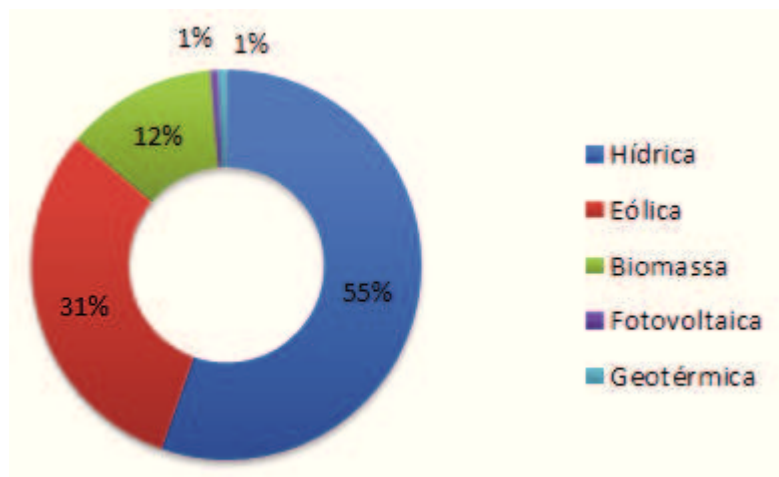


Gráfico 3 – Energia Eléctrica produzida a partir de energias renováveis em Portugal no ano 2010

Nos valores apresentados a energia hídrica produzida a partir de grandes barragens é considerada uma energia renovável. No entanto, várias organizações consideram que esta classificação não deva ser feita devido aos impactes e à insustentabilidade associados a este tipo de energia.

No **Gráfico 4** pode-se verificar que o sector dos transportes, seguido da indústria, é o maior consumidor de energia final.

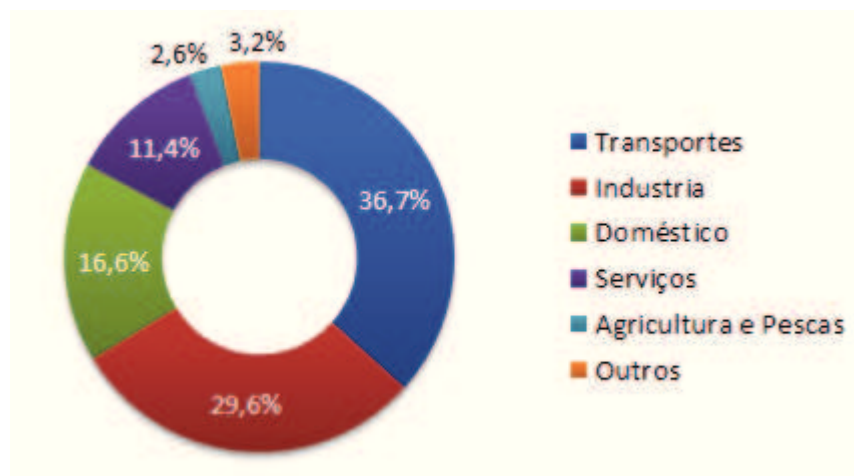


Gráfico 4 – Distribuição dos consumos de Energia Final por sectores em Portugal no ano 2010

Em 2010 os sectores doméstico e de serviços foram responsáveis por 28 % do consumo da energia final em Portugal.

Nos anos de 1980 a 1999 o sector que registou um maior aumento dos seus consumos energéticos foi o sector dos serviços, com um aumento na casa dos 7 %. Relativamente ao consumo de energia eléctrica, para o mesmo período, este sector aumentou de 19 % para 31 % (DGEG, 2002).

2.2 Directiva 2010/31/EU

A nova Directiva para os edificios (*Directiva 2010/31/EU*) já entrou em vigor e deveria ter sido transposta para o direito nacional até 9 de Julho de 2012. Os principais objectivos desta Directiva para 2020, passam pela redução das emissões de CO₂ em toda a Europa e pela elaboração de planos que levem ao aumento de “*Nearly Zero Energy Buildings*”.

Para alcançar estes objectivos, deverá ser reforçada a aposta na eficiência energética, o peso das renováveis “*in house*” deverá aproximar-se dos 100 % e terão de ser introduzidos novos requisitos que reforcem o conceito custo/benefício, de forma a que ao longo do seu ciclo de vida, o edificio seja um investimento rentável do ponto de vista energético.

Actualmente na União Europeia estima-se que os sectores residencial e terciário, que representam os edificios, absorvem mais de 40% do consumo final de energia da

Comunidade, estando de facto em expansão. Uma tendência que leva ao aumentar do consumo de energia e, portanto, também das emissões de dióxido de carbono associadas (CE, 2006).

Como resposta a este problema, a Directiva sobre os edifícios (*Directiva 2002/91/CE*), que deu origem em 2006 à ambiciosa regulamentação térmica portuguesa, vem agora ser substituída por uma ainda mais radical do ponto de vista daquilo que tem sido a prática construtiva das últimas décadas. Calcula-se que, ao reforçar a Directiva sobre os edifícios, a Europa possa obter uma redução de gases responsáveis pelo efeito de estufa na ordem dos 70 %. Mais, estas melhorias podem resultar, segundo a Comunidade Europeia (CE), numa poupança média de 300 euros por ano por agregado familiar em termos de poupança energética.

A *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) (Parlamento Europeu e do Conselho, 2002), ainda em vigor, tem como foco a promoção do desempenho energético dos edifícios através da criação de metodologias várias (ao nível da concepção, conforto, construção, instalação, etc), tendo por base critérios quanto às condições climáticas, rentabilidade económica, etc... O primeiro passo foi dado e a emissão de certificados energéticos tem-se revelado muito positiva, revelando-se como um ponto de viragem determinante nesta lógica de racionalização energética com o aumento da qualidade das instalações (Ascenso, 2010).

Uma mudança radical na forma como se concebem os edifícios será uma realidade muito em breve. A concepção dos edifícios para 2020 terá que ter em conta a harmonização entre o elevado desempenho energético e o recurso integral às energias de fonte renovável para produção das suas necessidades (Ascenso, 2010), (Parlamento Europeu e do Conselho, 2010).

Aquilo que apontávamos como uma realidade em construção, é já uma certeza para daqui a uma década. Em 2020 todos os edifícios novos da CE serão “*Nearly Zero Energy Buildings*”. Mas na prática o que significa este conceito e que alterações significativas terá na concepção, construção e nos sistemas de climatização dos edifícios?

No imediato poderíamos pensar num edifício de serviços com consumos muito próximos do “0”, com uma construção e orientação adequadas, com sistemas passivos que garantam as necessidades dos seus ocupantes. Segundo os especialistas, este é, sem

dúvida o ponto de partida para a concepção de qualquer edifício, mas nem sempre o suficiente.

A eficiência de diversas partes de um edifício e os componentes dos seus sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), desempenham um papel importante na eficiência da utilização de energia. Mas o *design* e a forma como estes componentes individuais interagem também é importante. Existe um aumento de interesse em edifícios que tenham consumos de energia e perfis de emissão de CO₂ extremamente baixos, como casas passivas, edifícios de energia zero e edifícios carbono zero. Muitas vezes, estes são desenvolvidos como projectos integrados, onde é dada especial atenção à eficiência em todas as fases de concepção e construção do edifício. Na verdade, isso é necessário para que o custo adicional do investimento destes edifícios seja acessível (OECD/IEA, 2008).

Existem muitas barreiras no que respeita à construção de edifícios passivos, de energia zero e carbono zero. Tal como acontece com muitas tecnologias energeticamente eficientes, os custos iniciais são elevados e os proprietários dos edifícios podem perceber que os benefícios a longo prazo são incertos se o investimento adicional não se reflectir nos valores de revenda. Existe pouca informação disponível para os decisores, sobre os benefícios e potencial dos edifícios passivos, de energia zero e carbono zero.

São necessárias soluções de construção passivas que garantam uma integração adequada com fontes renováveis de energia, para que os edifícios passivos possam ser desenvolvidos até um real edifício zero de energia ou zero de carbono. Em particular, há uma necessidade de desenvolver soluções inteligentes para equipar tais edifícios com as suas pequenas, mas essenciais necessidades de energia para ventilação, aquecimento, refrigeração e água quente.

Os projectos precisam ser postos em prática de forma a demonstrar essa tecnologia, nomeadamente em edifícios de serviços. Os edifícios de serviços oferecem a oportunidade de promover as tecnologias mais relevantes, porque são usados pelo público e podem deste modo aumentar a consciencialização do potencial de edifícios passivos, de uma forma mais ampla (Bourrelle, Gustavsen & Jelle, 2010).

2.3 Regulamentação Nacional Sobre Eficiência Energética

Em Outubro de 2005, o Governo aprovou uma nova Estratégia Nacional para a Energia, que substituiu a estratégia de 2003. A nova estratégia estabeleceu uma série de medidas

para atingir os principais objectivos do governo de forma a garantir o aprovisionamento de energia, protecção do ambiente e a preservação da competitividade económica. As políticas chave para alcançar estes objectivos foram identificadas como a liberalização do mercado, a promoção das energias renováveis e uma maior eficiência energética e inovação (IEA, 2009a).

Portugal está fortemente empenhado no desenvolvimento de fontes de energia renováveis em conformidade com a sua estratégia nacional para a energia. Melhorar a eficiência energética, reduzir as emissões de CO₂ e aumentar a utilização das energias renováveis estão entre os principais objectivos desta estratégia. A promoção da implantação no mercado de tecnologias de energia renovável pode assim ser considerada como um dos principais objectivos políticos, contribuindo para aumentar a segurança do abastecimento, através da diversificação das fontes de energia, enquanto reduz o impacto ambiental associado ao sistema de energia (Ministério da Economia e da Inovação, 2007).

O consumo de energia em edifícios residenciais e comerciais foi responsável por cerca de 30 % do consumo total de energia em Portugal no final de 2007.

Portugal tomou uma série de medidas de forma a transpor para a legislação nacional a Directiva Comunitária (*Directiva n.º 2002/91/CE*) relativa ao desempenho energético dos edifícios (*EPBD*), através da publicação dos seguintes decretos:

- **Decreto-Lei n.º 78/2006:** Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- **Decreto-Lei n.º 79/2006:** Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE);
- **Decreto-Lei n.º 80/2006:** Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Em Julho de 2007 tornou-se obrigatório o sistema de certificação energética dos edifícios e qualidade do ar interior, que obriga todos os edifícios a ter um certificado energético, indicando o consumo de energia e medidas propostas para a redução do mesmo, quando necessário.

A certificação energética permite comprovar a correcta aplicação dos regulamentos em vigor para edifícios e seus sistemas energéticos, tal como obter informações sobre o desempenho energético do edifício. Deste modo, os consumos energéticos nos edifícios

são um bom factor de comparação para potenciais compradores ou arrendatários, permitindo aferir a qualidade do imóvel no que respeita ao desempenho energético e à qualidade de ar interior.



Figura 1 – Modelo de Certificado Energético de Edifício e respectiva classificação energética

A certificação energética pode conduzir a economias médias de 30 % a 40 % no consumo de energia, resultantes de pelo menos cinco áreas: renováveis, isolamentos, pontes térmicas, superfícies envidraçadas e sombreamentos.

A classe energética é atribuída mediante uma escala de eficiência que varia entre 9 classes, de A+ (alta eficiência) a G (baixa eficiência), sendo que aos novos edifícios não poderão corresponder classes inferiores à B.

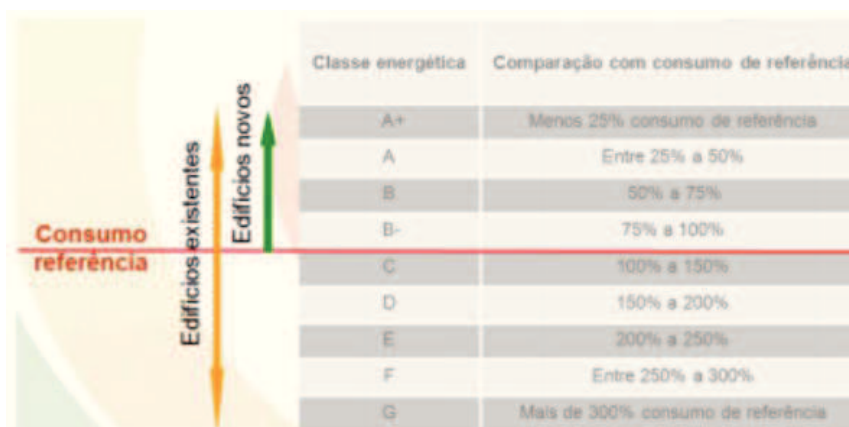


Figura 2 – Classificação energética

Segundo dados da Agência para a Energia - ADENE (2012) ilustrados no **Gráfico 5**, cerca de 63% dos fogos certificados apresentam potencial de reabilitação energética, sendo que, segundo a mesma fonte, o nível mais elevado de ineficiência energética

acontece nas construções dos anos 70 (mais de 85% dos fogos foram classificados com a letra C ou inferior).

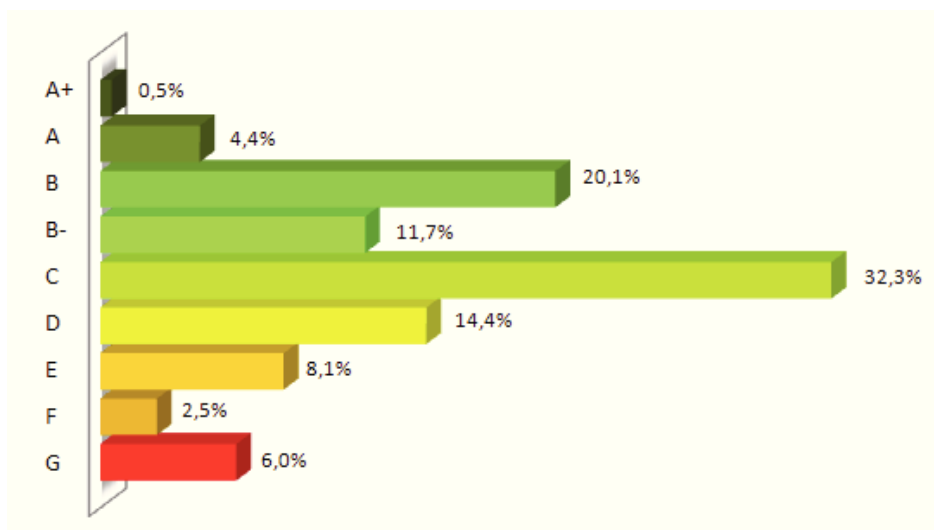


Gráfico 5 – Distribuição percentual de edifícios por classes

2.3.1 SCE

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios foi criado em 2006, através do Decreto-Lei nº 78 de 2006, com o objectivo de assegurar a melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, implementando um sistema de certificação energética de forma a informar os cidadãos acerca da qualidade térmica dos edifícios, na sua fase de construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público. Nos edifícios existentes, a certificação tem o objectivo de proporcionar informação sobre medidas de melhoria de desempenho (com viabilidade económica) que o proprietário pode implementar para reduzir os seus custos energéticos.

O *SCE* funciona conjuntamente com o *RCCTE* e o *RSECE*, através da emissão do certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior, requerido pelo promotor ou proprietário. Este documento é emitido por peritos qualificados e constitui o comprovativo da classe de eficiência energética atribuída ao imóvel, informando sobre as emissões de CO₂ e as necessidades de energia sob a forma desagregada: aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias (*AQS*).

2.3.2 RSECE

Com o surgimento da *Directiva n° 2002/91/CE*, e devido a um aumento significativo da taxa de crescimento de consumos de energia no sector dos edificios em Portugal, foi publicado em Abril de 2006 o Decreto-Lei n° 79 de 2006. Este Decreto-Lei revê os regulamentos dos sistemas de AVAC, incluindo a obrigação de inspecção periódica de caldeiras e ar condicionado.

O RSECE estabelece os limites máximos de consumo de energia nos grandes edificios de serviços e os limites de potência dos sistemas de climatização, define os critérios de concepção, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos em termos de formação profissional dos principais intervenientes, e determina as condições de monitorização e de auditoria do funcionamento dos edificios em termos de consumos de energia e de qualidade do ar interior.

A principal preocupação deste diploma é actuar ao nível dos edificios com climatização e elevados consumos de energia, no sentido de melhorar a qualidade dos respectivos sistemas energéticos. Determina ainda que os novos edificios a construir sejam dotados de meios naturais, mecânicos ou híbridos que possam garantir a qualidade do ar interior (QAI). Para tal enumera regras sobre a concepção das instalações mecânicas de climatização, principalmente no que diz respeito aos limites de potência instalada.

2.3.3 RCCTE

A 4 de Abril de 2006 é publicado o Decreto-Lei n° 80 de 2006, essencialmente devido à constatação do aumento preocupante de gastos energéticos pelos consumidores, que recorrem muitas vezes ao aquecimento e arrefecimento ambiente através da instalação de equipamentos de climatização como o ar condicionado.

O *RCCTE* estabelece as regras a observar no projecto de edificios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados, de modo a garantir que as exigências de conforto térmico (aquecimento, arrefecimento, ventilação) possam ser satisfeitas sem consumo excessivo de energia e a minimizar as situações patológicas nos elementos de construção decorrentes de condensações (superficiais ou internas) que possam afectar negativamente a durabilidade dos materiais e a qualidade do ar interior.

Este regulamento revê os regulamentos de térmica de edificios, apresentando-se mais exigente, quer no que diz respeito ao cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento, quer na verificação efectivas e sistemática dos requisitos regulamentares.

O *RCCTE* torna ainda obrigatório, para todos os novos edifícios, o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de *AQS*, desde que os edifícios possuam uma exposição solar adequada – coberturas orientadas numa gama de azimutes de 90° entre Sudoeste e Sudeste, e que não sejam sombreadas no período de maior insolação.

2.4 Edifícios Inteligentes

O termo edifício inteligente ou *smart building* surgiu nos Estados Unidos da América, no início da década de 80. Nessa época, o termo edifício inteligente era utilizado para realçar conceitos de alta qualidade e a possibilidade de um rápido retorno do dinheiro investido.

A definição deste termo nunca foi bastante consensual, e ainda hoje continua a não existir uma definição padrão, existindo contudo várias propostas que são a seguir apresentadas.

Para o *Intelligent Buildings Institute (IBI)* dos Estados Unidos da América, um edifício inteligente é aquele que fornece um ambiente produtivo e de custo viável através da optimização de seus quatro elementos básicos: Estruturas (componentes estruturais do edifício, elementos de arquitectura, acabamentos de interiores e móveis), Sistemas (controle de ambiente, aquecimento, ventilação, ar-condicionado, luz, segurança e energia eléctrica), Serviços (comunicação de voz, dados, imagens, limpeza) e Gestão (ferramentas para controlar o edifício), além da inter-relação entre eles. Os edifícios inteligentes ajudam os seus proprietários, gestores e ocupantes a atingir os seus objectivos sob as perspectivas do custo, conforto, adequação, segurança, flexibilidade a longo prazo e valor comercial (Neves, 2004).

Já o *European Intelligent Building Group (EIBG)* do Reino Unido define um edifício inteligente como aquele que cria um ambiente que permite às empresas atingirem seus objectivos de negócio, maximizando a produtividade dos seus utilizadores, e permitindo um controlo eficiente dos recursos com um prazo mínimo de retorno dos gastos (Sgavioli, 2006).

No Japão, a *Intelligent Building Study Committee (IBSC)* apresenta a definição de edifício inteligente sob três pontos de vista relativos ao que o prédio deve possuir (Maeda, 1993):

- a. Bom ambiente para as pessoas e para os equipamentos;

- b. Bom suporte para a alta produtividade dos trabalhadores de escritório e;
- c. Boa segurança patrimonial, individual, contra incêndio, e operação altamente económica.

Apesar de não haver uma definição formal, os edifícios inteligentes eram por norma relacionados com a utilização de alta tecnologia. Num simpósio internacional realizado em Toronto, em 1985, surgiu a seguinte definição: “Um edifício inteligente combina inovações tecnológicas ou não, com capacidade de controlo, para maximizar o retorno do investimento” (Gomazako, 2007).

Segundo Bolzani (2004) um edifício inteligente difere dos edifícios tradicionais por dois motivos:

1. Utilização de dispositivos cujas funcionalidades contribuem para a gestão do edifício, substituindo ou complementando os tradicionalmente usados.
2. Utilização de modernos conceitos de arquitectura e de construção, que possibilitam a utilização de fontes naturais de energia de uma forma mais apropriada, reduzindo a taxa de utilização de equipamentos de iluminação, ventilação, aquecimento e arrefecimento, e conseqüentemente o consumo de energia eléctrica.

2.4.1 Revisão histórica

No início da década de 70, devido à divulgação dos microcomputadores, houve um aumento na aplicação de sistemas de controlo, que permitiam a automação e a supervisão de equipamentos mais sofisticados e em maior número. Entretanto, a primeira crise petrolífera contribuiu de forma decisiva para a implementação destes sistemas, dando prioridade aos aspectos relacionados com uma gestão energética mais racional.

No final dos anos 70, os sistemas AVAC foram os primeiros a serem controlados electronicamente nos edifícios. A evolução dos *chips* de computadores possibilitou controlar estes sistemas através de sensores localizados, permitindo respostas rápidas e alterações mais precisas das condições climáticas.

Nos anos 80 surgem novas necessidades no que respeita ao conforto, à segurança, à flexibilidade dos locais de trabalho, com novas e maiores necessidades de serviços de

telecomunicações e de processamento de informação. Estes desenvolvimentos deram origem ao aparecimento nos edifícios, de três sistemas fundamentais:

- O sistema de automação, responsável pela gestão dos edifícios, controlando as instalações técnicas, pela detecção de incêndios, pela gestão energética, pelo controlo da iluminação, pela climatização, etc.
- O sistema de telecomunicações, englobando a transferência de voz e de dados, e as comunicação com o exterior dos edifícios.
- O sistema computacional, que inclui sistemas de informação, escritório electrónico, sistemas de apoio à decisão, automação de procedimentos administrativos, etc.

2.4.2 Exemplos de edifícios inteligentes

Abaixo descrevem-se alguns exemplos de edifícios que incorporam tecnologias de automação e controlo nos seus projectos e execução.

➤ Edifício da *AT&T- Sony Center*

O primeiro edifício inteligente do mundo foi construído em 1984 em Nova Iorque. O edifício que foi sede da companhia telefónica *AT&T*, hoje Torre *Sony*, foi um projecto de Philip Johnson e John Burgees, e é considerado um ícone da arquitectura pós-moderna, com 37 andares e 197 m de altura, possuindo uma estrutura altamente flexível que permite modificações no seu interior (Neves, 2002).



Figura 3 – Edifício da AT&T (*Sony Center*)

➤ Edifício Lloyd's

O edifício da companhia de seguros *Lloyd's* foi construído em Londres em 1986. Foi projectado pelo arquitecto Richard Rogers, tem 95 metros de altura, 14 andares, e é considerado um modelo de edifício inteligente.



Figura 4 – Edifício da Lloyd's

De acordo com o seu arquitecto, a intenção deste edifício flexível é que sua estrutura dure cinquenta anos, o sistema de ar condicionado quinze e as comunicações cinco. Os seus serviços, com elevadores, escadas e casas de banho, ficam em seis torres periféricas, permitindo uma independência no que respeita à manutenção e actualização dos sistemas aplicados e no que respeita à revitalização da edificação. O sistema de gestão do edifício incluía avançados sistemas tecnológicos mas faltava-lhe a integração entre eles, ou seja, a automação era localizada sem integração entre outros elementos do sistema.

Segundo Bolzani (2004), algumas das características mais importantes do edifício Lloyd's são:

- Os diversos subsistemas (ar condicionado, eléctrico, telecomunicações, transporte, entre outros) foram instalados no exterior do edifício, sempre que possível em tubulações à vista, de forma a facilitar a manutenção e possíveis adaptações;

- O facto de possuir isolamentos com tratamento contra insectos, destacando-se pelo uso de materiais cuidadosamente seleccionados para garantir o melhor desempenho da edificação durante a sua vida útil;
- As mesas de trabalho possuem controlo individual do brilho e da intensidade da iluminação;
- Nas paredes, revestimentos e móveis foram utilizados materiais com alta absorção e baixa reflexão de ruídos para melhorar o desempenho acústico dos vários ambientes;
- As estações de trabalho possuem vista para o exterior e as janelas foram distribuídas por forma a favorecer o fluxo de ar no interior do edifício;
- A distribuição das tubagens de retorno do sistema de ar condicionado foi cuidadosamente estudada para não interferir negativamente no aspecto estético do edifício, tanto no exterior como no interior.

➤ Edifício Tagus Park

O edifício *Tagus Park* em Lisboa possui uma das infra-estruturas de telecomunicações mais avançadas do País. Esta infra-estrutura possibilita o acesso aos serviços de transferência de voz, dados e imagem (*Local Area Network (LAN)*), videoconferência, Rede Digital com Integração de Serviços (RDIS), *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*, correio electrónico e servidor de Internet, através de uma linha dedicada de alto débito.



Figura 5 – Tagus Park

O *Tagus Park* possui uma infra-estrutura pioneira em Portugal. Trata-se de uma galeria técnica que percorre toda a área de *Tagus Park*, numa extensão de cinco quilómetros, abrigando no seu interior as tubagens necessárias para o encaminhamento de energia

eléctrica, serviços de telecomunicações, água potável e de rega, bem como o escoamento de águas pluviais e esgotos domésticos. Por razões de segurança, a rede de gás passa fora da galeria. Possui também uma central de cogeração, onde se produz a água quente, fria e energia eléctrica, usando como vector energético o gás natural (Ribeiro, 2004).

2.4.3 Organização de sistemas e serviços nos edifícios inteligentes

Os edifícios inteligentes devem possuir toda uma gama de sistemas e serviços que permitam proporcionar um ambiente confortável, seguro e energeticamente económico. Abaixo, apresenta-se um organograma que articula a gestão dos sistemas, serviços e estrutura, demonstrando o papel vital da integração.

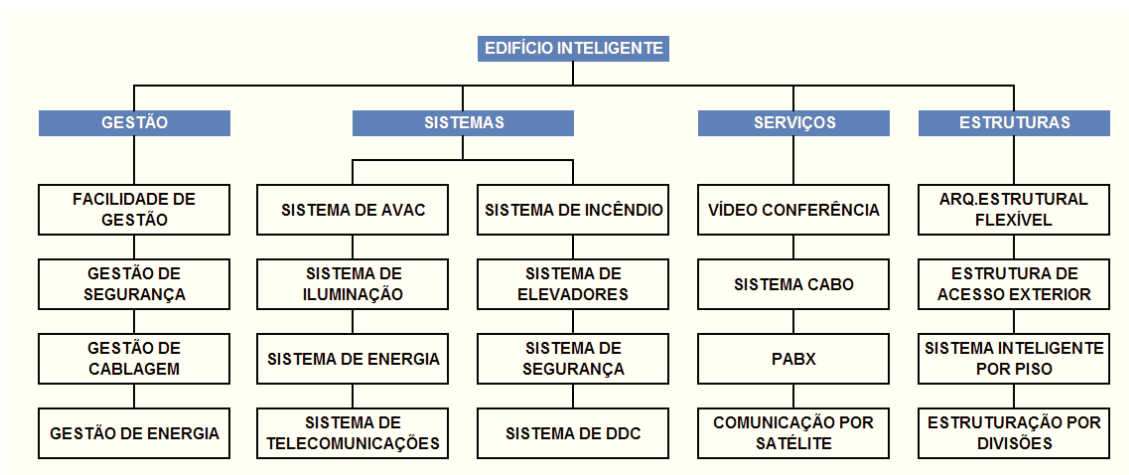


Figura 6 – Componentes de um Edifício inteligente

Segundo Neves (2002), a capacidade dos sistemas de um edifício são avaliadas pelas funções que estes executam, sejam elas físicas ou lógicas. Assim, estes devem possuir características tais como:

- Capacitar a integração dos seus sistemas;
- Actuar em situações variadas e ligadas entre si;
- Ter memória suficiente e noção temporal;
- Facilitar a interligação com o utilizador;
- Ser facilmente programado;
- Dispor de capacidade de autocorreção;
- Ser altamente flexível, oferecendo segurança e conforto.

2.4.4 Vantagens e desvantagens dos edifícios inteligentes

A construção de edifícios inteligentes pode apresentar inúmeras vantagens, das quais se destacam as seguintes:

- Possibilitar o controlo do imóvel;
- Melhorar a produtividade tanto dos edifícios como das pessoas;
- Possibilitar o incremento de serviços, de modo a serem alcançadas as condições óptimas no que respeita à eficiência de utilização;
- Melhorar a qualidade de vida para o utilizador;
- Assegurar uma maior segurança a bens e pessoas;
- Facilitar as comunicações internas e externas dos utilizadores do edifício;
- Manter o edifício ao menor custo possível;
- Administrar os consumos energéticos;
- Melhorar significativamente as condições ambientais;
- Garantir o retorno de capital investido.

Apesar das vantagens indiscutíveis, existem alguns aspectos negativos dos edifícios inteligentes que importa focar:

- Elevado custo inicial do investimento;
- O facto de muitas das suas aplicações serem relativamente recentes, podem detectar-se falhas nos sistemas;
- A necessidade de recorrer a técnicos especializados;
- No caso de se optar por uma tecnologia proprietária, poder-se-á facilmente ficar dependente de um fabricante e/ou instalador.

2.4.5 Custos e retorno de capital

É consensual considerar-se que um edifício inteligente não é significativamente mais dispendioso do que um edifício tradicional, tendo em conta que o investimento em tecnologia ronda entre os 2 % e os 10 % do valor total do empreendimento (Alves e Mota, 2003).

Estes custos estão na maior parte dos casos, nos projectos de arquitectura e engenharia, pois exigem mais tempo de estudo para as alternativas mais adequadas segundo cada tipo de edificação e do impacto que ela causará no meio ambiente no qual será inserido.

No que diz respeito ao retorno de capital, em construções de dimensão significativa, se os sistemas de gestão técnica proporcionarem uma redução no consumo de energia entre 20 a 30 %, amortizando o investimento inicial em 3 anos, poder-se-á considerar que o retorno de investimento é perfeitamente atingido, mesmo não entrando em linha de conta com factores subjectivos e paralelos, como o conforto ou a segurança (Oliveira, 1999, apud Barros, 2010).

Para os casos das habitações particulares, dificilmente o investimento tem retorno directo. Isto significa que serão aspectos como conforto, segurança e alguma economia energética ou da valorização da propriedade que farão com que se invista em sistemas domóticos.

3 SISTEMAS DE GESTÃO TÉCNICA

Desde o surgimento dos edifícios que o Homem sente necessidade de exercer algum controlo sobre os espaços. Desta forma, podem apontar-se as janelas como os primeiros e mais elementares meios de controlo dos fluxos de ar e das temperaturas nas áreas interiores. Da mesma forma, portadas, persianas e estores podem também ser considerados meios básicos de regulação da intensidade luminosa e, indirectamente, da temperatura. Já as lareiras e as caldeiras foram dos primeiros meios utilizados para aquecimento.

Embora não tão antigos, os interruptores de iluminação merecem também uma referência particular como formas primitivas de comando à distância de fontes de luz.

Apesar destes elementos serem rudimentares em comparação com a tecnologia actual, eles continuam a constituir formas fundamentais de controlo na generalidade dos edifícios. Além de eficazes e simples, estes elementos básicos de controlo têm a grande vantagem de permitir que cada pessoa possa de alguma forma actuar sobre o seu ambiente de trabalho, modificando-o a seu gosto e maximizando, na medida do possível, o seu conforto.

Os sistemas de gestão técnica têm como principal objectivo a monitorização e o controlo de sistemas e equipamentos associados ao edifício. São considerados uma ferramenta de exploração, de manutenção e de gestão.

A gestão técnica de edifícios consiste na aplicação da electrónica e da informática às instalações eléctricas dos edifícios de serviços, encarregando-se de questões como a eficiência energética, a segurança, o controlo e a monitorização. De um modo mais objectivo, é responsável pela apresentação e implementação de estratégias que passam por:

- Maximizar o conforto dos ocupantes;
- Evitar o funcionamento indevido dos sistemas;
- Assegurar um correcto fornecimento dos serviços;

- Minimizar os requisitos de manutenção, dando prioridade a um sistema de manutenção preventiva;
- Optimização dos consumos energéticos e dos custos de operação, minimizando as emissões atmosféricas.

A aplicação de sistemas de gestão técnica de energia em edifícios, promove a capacidade de poupar energia e melhorar a produtividade através da criação de um ambiente de trabalho confortável. A optimização que advém da instalação destes sistemas, juntamente com auditorias e afinações regulares, permitem criar uma melhor gestão de energia.

A poupança de energia e a optimização do conforto dos utilizadores são função das estratégias aplicadas a cada edifício, tendo em conta as suas próprias características, a sua utilização e o seu comportamento térmico. Assim, a optimização proporcionada pelos sistemas de gestão técnica, dependem de vários factores, tais como o edifício em si, os hábitos de quem o utiliza, os níveis de controlo desejados e a estratégia de controlo definida (Mumovic and Santamouris, 2009).

3.1 A Automatização Local

Com o evoluir da tecnologia, foram sendo introduzidos nos edifícios equipamentos mais complexos. O controlo dos mesmos foi inicialmente assegurado pela utilização de dois tipos básicos de elementos: os termóstatos e os relés.

Mais tarde, a automatização com base em componentes electromecânicos deu lugar ao uso cada vez mais frequente de dispositivos electrónicos. No entanto, a forma básica como o controlo era realizado continuava a basear-se no modo como os diversos componentes eram interligados, o que se designa por controlo por lógica cablada (*Wired Logic Control - WLC*).

Os relés e os termóstatos estão ainda bem presentes no nosso quotidiano. A título de exemplo, poder-se-á salientar o uso de relés temporizados para controlar a iluminação de escadas e corredores, o uso de relés em tarefas de automação, e o uso dos termóstatos nas mais diversas aplicações que podem ir desde o controlo de caldeiras e sistemas de refrigeração até à simples automatização de aquecedores eléctricos individuais.

3.2 Os Sistemas Centralizados

Na década de 70, com a crescente divulgação dos sistemas electrónicos e dos sistemas baseados em microprocessadores, a automação dos edifícios avança para um novo patamar.

3.2.1 Sistema central único

Nesta época surgem os sistemas centralizados que permitem ter acesso ao estado dos equipamentos do edifício e exercer controlo sobre os mesmos, a partir de um único ponto.

Estes sistemas consistem numa série de sensores e os actuadores interligados a uma unidade de controlo, normalmente constituída por vários módulos de entrada/saída e por um microprocessador (habitualmente programado na correspondente linguagem *Assembly*). Este tipo de sistemas está geralmente associado à utilização de muita cablagem.

São também sistemas de reduzido grau de autonomia, sendo comum a existência de grandes painéis sinópticos e a presença de pessoal especializado para assegurar a supervisão das instalações. A detecção de desvios relativamente às parametrizações, acciona alarmes, cabendo a tomada de decisão aos operadores.

3.2.2 Sistemas centrais especializados

As funções de automatização aumentam e diversificam-se, em função da maior complexidade dos elementos controlados e para satisfazer novas necessidades. Surgem assim os sistemas que controlam os quadros de baixa tensão e que monitorizam os consumos, os sistemas que fazem detecção de incêndio, os sistemas que controlam os equipamentos de climatização, etc.

Os sistemas continuam a possuir uma arquitectura centralizada, com utilização maciça de cabos a interligar os vários sensores e actuadores à respectiva unidade de controlo, e estão completamente isolados uns dos outros. É frequente que sistemas de diferentes fabricantes, sejam incompatíveis, usem diferentes linguagens de programação, não prevejam quaisquer mecanismos de troca de informação entre si e cada sistema possua os seus sensores e actuadores e a sua consola de controlo (com formas de interacção específicas), obrigando em geral à existência de pessoal qualificado dedicado a cada sistema.

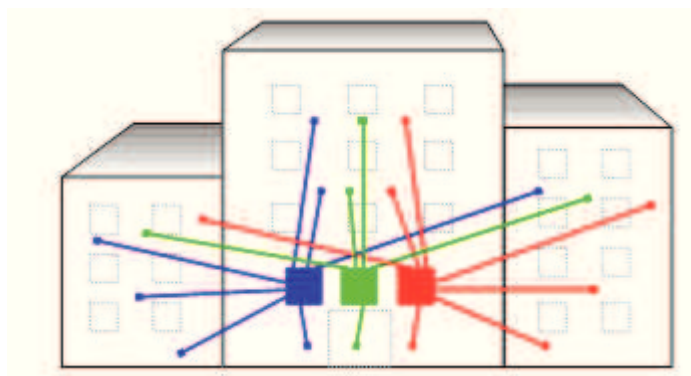


Figura 7 – Sistemas Centralizados Isolados

3.3 Os Sistemas Distribuídos Hierárquicos

No final da década de 70 assiste-se à introdução generalizada dos autómatos programáveis na automação de edifícios. Este passo foi consequência da grande evolução ocorrida nos autómatos programáveis usados no controlo de processos industriais.

Foi também esta evolução que deu origem a progressos na arquitectura de sistemas. De arquitecturas puramente centralizadas evoluiu-se para arquitecturas distribuídas com controlo hierárquico.

Este tipo de arquitectura permite poupanças significativas ao nível da cablagem e introduz o processamento local, isto é, processamento realizado por um equipamento periférico, que está associado a um conjunto específico de actuadores e/ou sensores e que está localizado na proximidade destes.

O controlo realizado por lógica cablada cai em desuso dando lugar à generalização do controlo por lógica programável (*Programmable Logic Control - PLC*).

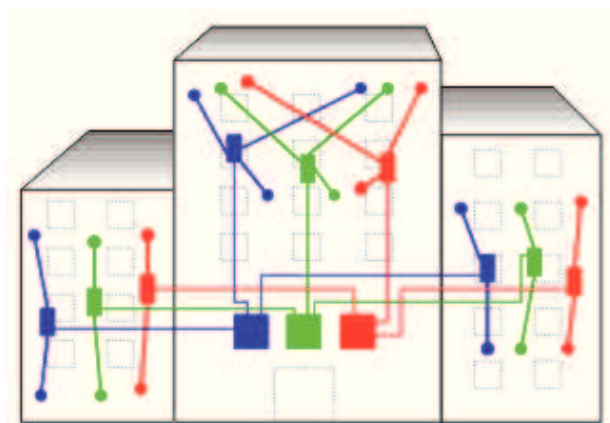


Figura 8 – Sistemas distribuídos hierárquicos

Nas arquitecturas distribuídas hierarquicamente é comum encontrar uma estrutura com três níveis de controlo. O primeiro nível corresponde aos equipamentos periféricos, aos quais estão ligados os sensores e os actuadores. O segundo nível é constituído por concentradores intermediários que gerem diversos equipamentos periféricos. Os concentradores respondem perante a unidade de controlo, a qual representa o terceiro nível e permite interactuar com o operador.

É também frequente encontrar estruturas com apenas dois níveis de controlo. Nestas, os dispositivos concentradores não existem, estando os equipamentos periféricos interligados directamente à unidade de controlo central através de redes de comunicação.

A década de 80 caracteriza-se então, por um progresso significativo a nível de cada sistema, destacando-se os seguintes aspectos:

- Redução de cablagens;
- Capacidade de processamento local;
- Maior fiabilidade (isso deve-se, por um lado, à maior fiabilidade de cada equipamento e, por outro lado, ao facto de a arquitectura evitar que uma falha num único componente possa colocar todo o sistema inoperacional);
- Maior capacidade de controlo (quer a nível do número de pontos controlados, quer a nível das funções desempenhadas, dos algoritmos usados e da rapidez de execução);
- Maior capacidade computacional (casos há em que as unidades de controlo centrais são constituídas por microcomputadores, o que permite uma melhor capacidade de tratamento dos dados, tornando mais fácil a obtenção de informação útil e permitindo melhores níveis de gestão);
- Maior flexibilidade;
- Novas formas mais simples e poderosas de programação;
- Melhores capacidades de interacção com o utilizador (de referir, em particular, a generalização das interfaces gráficas);
- Melhor relação funcionalidade/custo.

É nesta década que é introduzida a designação Gestão Técnica Centralizada, associada à automação das instalações técnicas dos edifícios, sendo as principais áreas de intervenção as seguintes:

- Instalação eléctrica e sistemas mecânicos (transformadores, quadros de baixa tensão, electrobombas, compressores);
- Conforto (climatização, iluminação);
- Gestão energética (monitorização de consumos, controlo de ponta, controlo horário de cargas, deslastragens controladas);
- Protecção (detecção de incêndio, inundação, gases tóxicos);
- Segurança (controlo de acessos, detecção de intrusão, vigilância);
- Manutenção.

Não obstante as suas vantagens, razão pela qual a maioria dos sistemas que estão instalados actualmente são deste tipo, mantém-se o problema da falta de comunicação entre cada sistema específico e a incapacidade de cooperarem entre si (excepções a esta regra ocorrem normalmente quando todos os sistemas são do mesmo fabricante).

À medida que a década de 80 avança, a necessidade de integração dos sistemas torna-se cada vez mais patente. Os utilizadores passam a estar conscientes da sua falta, em parte pela divulgação das ideias e conceitos associados aos Edifícios Inteligentes mas, sobretudo, pela vivência no dia-a-dia com os sistemas, constatando as suas deficiências, as duplicações de funções, a má gestão dos recursos, e antevendo o que se poderia beneficiar se os sistemas pudessem cooperar entre si.

3.4 Os Sistemas Integrados

A necessidade de colmatar a falta de integração dos sistemas de automação de edifícios dá origem, ainda na década de 80, ao aparecimento de um tipo de solução que é a mais comum actualmente.

Essa solução consiste na introdução de um equipamento, que corresponde a um nível adicional de controlo, destinado a supervisionar e coordenar os vários sistemas específicos de automação do edifício. É aqui, no topo da pirâmide da hierarquia de controlo, que a integração tem lugar. Esse equipamento gere a troca de informação entre os vários sistemas e concentra a tomada de decisões. Esta solução oferece também a

vantagem de os operadores poderem aceder a qualquer dos sistemas através de uma interface única.

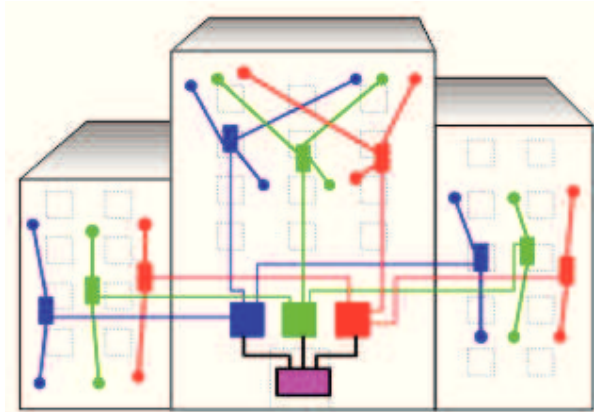


Figura 9 – Sistemas integrados

O equipamento central pode variar desde autómatos programáveis de grande capacidade até minicomputadores, passando por computadores pessoais.

A generalidade dos sistemas mais recentes segue exactamente o mesmo tipo de arquitectura. Isso deve-se, por um lado, ao facto do tipo de solução descrito constituir uma extensão óbvia das arquitecturas distribuídas com controlo hierárquico e permitir uma compatibilização com linhas de produtos já existentes. Por outro lado, as arquitecturas distribuídas hierárquicas são fáceis de entender e de desenvolver, e oferecem um elevado grau de modularidade e de flexibilidade que são essenciais para satisfazer à multiplicidade de requisitos de capacidade (número de pontos de controlo) e de funções a desempenhar na automação de edifícios.

Note-se que, apesar de existirem soluções de razoável generalidade e flexibilidade, quando estamos perante produtos de um único fabricante, tudo muda de figura quando em presença de produtos de fabricantes distintos. Embora a filosofia de integração típica seja a já indicada, a sua realização peca por ser específica, o que se traduz normalmente em inflexibilidade e incapacidade de evoluir e de se adaptar a novas situações e a novas necessidades.

Na década de 80 não se assistiu apenas à evolução dos sistemas de automação de edifícios. Observaram-se também desenvolvimentos significativos nas áreas das telecomunicações, do processamento de informação e da comunicação de dados, que deram origem a novos sistemas e funções que passaram a desempenhar um papel cada vez mais significativo na actividade das organizações. Porém o desenvolvimento desses

sistemas, e a sua utilização, foram feitos de forma independente e desligada da automação de edifícios. Esse facto, aliado por vezes à diferente tecnologia envolvida, deram origem a que o edifício passasse a abrigar múltiplos sistemas, isolados uns dos outros.

O panorama indicado, em que o edifício é o receptáculo de ilhas de automatização isoladas, cada uma com a sua especialidade, continua ainda hoje a ser o mais comum, o que contraria claramente os conceitos de edifício inteligente.

3.5 Principais Problemas Das Soluções De Integração Actuais

3.5.1 Solução fabricante único

O exemplo mais concreto verifica-se quando os equipamentos de um dado sistema são todos do mesmo fabricante. Nesta situação, existem condições para que a integração ocorra sem problemas, dado que o fabricante dispõe de toda a informação sobre os diversos subsistemas a integrar. Por norma, isso conduz a soluções bastante uniformes e completas, em que as diversas capacidades dos vários subsistemas são bem exploradas.

No entanto, nem sempre a integração é obtida de forma trivial. É frequente, que os fabricantes possuam linhas de produtos com características bastante distintas e incompatíveis entre si. Isso pode manifestar-se a vários níveis:

- Estrutura e constituição física dos equipamentos;
- Aplicações de base (sistemas operativos, núcleos multi-tarefa) e serviços oferecidos às aplicações de alto nível;
- Linguagens e ferramentas de definição das aplicações;
- Redes de comunicação (meio de transmissão, fichas de ligação, protocolos).

Outro aspecto que também dificulta a integração, reside no facto, de muitos dos equipamentos serem concebidos para funcionar isoladamente, não prevendo a possibilidade de comunicação com o exterior. No entanto, a importância deste aspecto tem vindo a diminuir com a evolução crescente dos equipamentos.

Relativamente aos factores económicos, a escolha de um dado fabricante pode afastar a possibilidade de recorrer a componentes de outro fabricante com características análogas e a menor custo.

3.5.2 Integração feita à medida

O caso mais típico corresponde a uma situação em que são escolhidos os subsistemas mais adequados, sem imposição de que tenham de ser do mesmo fabricante.

Nesta escolha são tidos em conta diversos aspectos:

- As características funcionais dos subsistemas;
- Os custos dos subsistemas;
- A capacidade dos fabricantes de assegurar a manutenção e de dar o apoio necessário durante o período de vida útil dos equipamentos;
- A capacidade de os equipamentos comunicarem com o exterior e poderem ser controlados através desse meio de comunicação.

A principal vantagem deste tipo de abordagem reside na possibilidade de escolha dos subsistemas que melhor se adequam aos requisitos definidos, e de obter as funções de integração desejadas.

As desvantagens são diversas e podem ser categorizadas em cinco áreas:

- Custo;
- Instalação e colocação em funcionamento;
- Grau de integração;
- Restrições na escolha dos subsistemas;
- Especificidade da solução de integração.

Relativamente aos aspectos da instalação e colocação em funcionamento do sistema, é natural que surjam problemas devido à maior complexidade da solução e ao maior número de entidades envolvidas.

Outro aspecto importante, no que se refere à escolha dos subsistemas a utilizar, relaciona-se com diversas limitações que este tipo de solução de integração impõe. Não basta procurar um subsistema com as características adequadas e com um preço competitivo, é também necessário ter em conta se o equipamento pode comunicar e ser controlado a partir de um equipamento exterior.

A maioria dos fabricantes recusa-se a fornecer informação detalhada sobre os seus sistemas e sobre os protocolos usados. Este facto, leva a que sistemas perfeitamente

válidos em termos funcionais e em termos de custo, possam não estar qualificados para serem integrados com outros equipamentos.

Embora, normalmente se procure introduzir alguma flexibilidade nos sistemas, é provável que mudanças significativas de funções, substituição de subsistemas que se tenham tornado obsoletos ou a introdução de novos subsistemas, obriguem a alterações profundas no sistema de integração que não estejam ao alcance da equipa de gestão do edifício.

3.6 Tendências De Evolução Das Soluções De Integração

Como foi visto anteriormente, a partir dos anos 80 passaram a existir soluções de automação dos edifícios que permitiam, cada vez mais, a integração das várias especialidades da Gestão Técnica. No entanto, os desenvolvimentos tecnológicos nas áreas das telecomunicações, do processamento de informação e da comunicação de dados, originaram o aparecimento de novos sistemas. Estes, embora não ligados directamente às tarefas de automação, são hoje elementos integrantes de qualquer edifício. Nesta perspectiva, e dando corpo ao conceito de edifício inteligente que traduz um conjunto de necessidades reais e cujas vantagens são indiscutíveis, foram surgindo na década de 80 um número crescente de requisitos de interligação e de cooperação entre os mais diversos sistemas presentes no edifício (Nunes, 1995).

3.6.1 Soluções baseadas em PPCA digitais

As primeiras abordagens deste tipo de solução com algum sucesso, tiveram por base os desenvolvimentos da tecnologia digital na área das telecomunicações.

A solução promovia a utilização da rede de telecomunicações do edifício, centrada em torno de um PPCA (Posto Privado de Comutação Automática) digital e suportando as facilidades de comunicação de voz, de comunicação entre os equipamentos de automação e de comunicação com sistemas informáticos (**Figura 10**).

Este tipo de solução oferece diversas vantagens, das quais se salientam as seguintes:

- Infra-estrutura de comunicação comum que favorece a integração;
- Acesso facilitado às redes públicas de telecomunicações;
- Poupanças significativas ao nível da cablagem;
- Simplicidade de instalação;

- Possibilidade de utilização de recursos existentes (renovação de edifícios).

Como principais desvantagens focam-se:

- A falha do PPCA pode originar a impossibilidade de comunicação entre os vários equipamentos do edifício;
- Baixos ritmos de transmissão (64Kb/s no máximo);
- Suporte limitado de protocolos de comunicação.

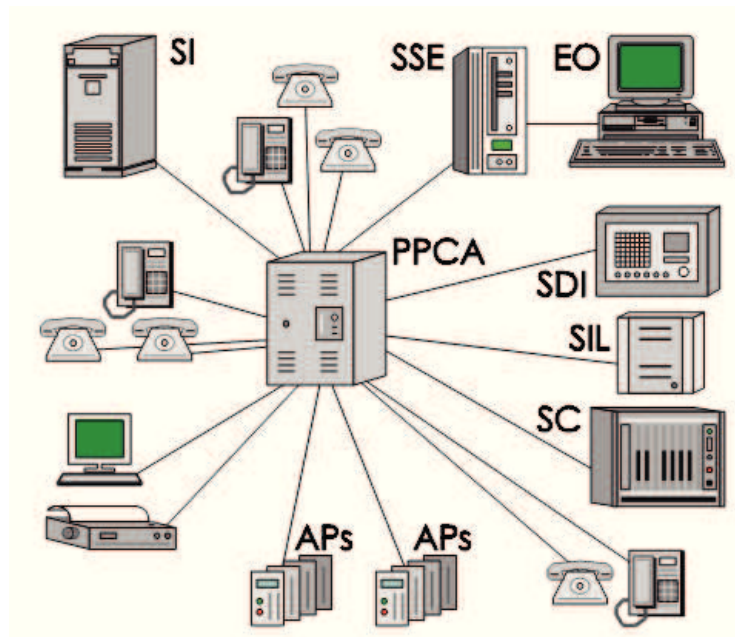


Figura 10 – Solução de integração com base num PPCA digital

Legenda:

SI – Sistema Informático

SSE – Sistema de Supervisão do Edifício

EO – Estação de Operador

SDI – Sistema de Detecção de Incêndio

SIL – Sistema de Iluminação

SC – Sistema de Climatização

APs – Autómatos Programáveis

Neste tipo de solução recorre-se com frequência apenas à infra-estrutura de comunicações, sem necessidade de intervir directamente no PPCA. Estas situações ocorrem pela necessidade de ligações físicas dedicadas. As vantagens deste tipo de utilização são diversas:

- Possibilidade de mudar circuitos que estão interligados entre si, em qualquer momento e de forma fácil;

- Possibilidade de interligação de equipamentos que usem formas específicas de comunicação, evitando-se assim a utilização de cablagem adicional;
- Possibilidade de ter ligações fiáveis que não dependem do estado de funcionamento do PPCA.

A nível funcional, este tipo de abordagem é bastante abrangente, sendo comum a oferta de serviços como correio de voz, correio electrónico, acesso a outras redes, acesso ao sistema de automação do edifício, entre outros. Estas funções são implementadas directamente pelo PPCA.

3.6.2 Soluções baseadas em RDIS

Com o aparecimento da RDIS, os PPCA evoluíram tendo dado lugar aos PPCIS (Posto Privado de Comutação com Integração de Serviços). A utilização de uma infra-estrutura de telecomunicações baseada em RDIS oferece vantagens enormes devido à normalização das suas interfaces e dos protocolos utilizados. Isso permite a coexistência de uma vasta gama de equipamentos e oferece novos serviços e novas potencialidades. Refira-se também o acesso simplificado às redes públicas, também estas RDIS.

Como principais desvantagens deste tipo de solução referem-se a baixa largura de banda oferecida e o modo lento com que a sua divulgação tem ocorrido. Este último aspecto tem sido motivado, em parte, pela rápida evolução ocorrida na área das redes de banda larga.

3.6.3 Soluções baseadas em redes de banda larga

A evolução das redes de telecomunicações tem como característica fundamental a integração de todos os serviços, incluindo aqueles que requerem um débito elevado, como vídeo interactivo em tempo real e distribuição de televisão de alta definição, que serão suportados numa RDIS dita de banda larga. Esta fase requer suportes de transmissão e tecnologias de comutação bastante diferentes da fase anterior, devido fundamentalmente aos altos ritmos necessários para os novos serviços, onde sem dúvida as tecnologias ópticas desempenharão um papel importante, tanto na transmissão como na comutação (Nunes, 1992). Na **Figura 11** pode visualizar-se uma solução deste tipo, usando uma rede FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*).

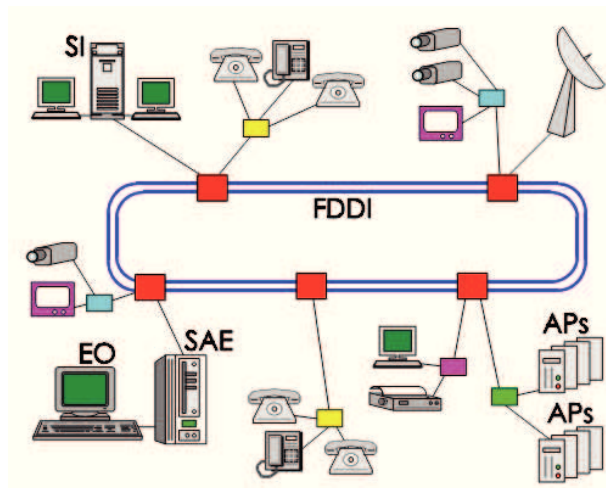


Figura 11 – Solução de integração com base numa rede de grande largura de banda

Legenda:

SI – Sistema Informático

EO – Estação do Operador

SAE – Sistema de Automação do Edifício

Aps – Autómatos Programáveis

O elevado custo deste tipo de solução apresenta-se como a sua principal desvantagem. Esse custo manifesta-se essencialmente ao nível dos concentradores (equipamentos que dão acesso ao meio físico) e ao nível da própria fibra óptica, devido a problemas de instalação.

Existe actualmente uma grande actividade na área da RDIS-BL. Este tipo de rede promete revolucionar as comunicações quer ao nível local (LAN), quer ao nível das redes de grande extensão (WAN). Este tipo de rede permite suportar de forma eficaz todo o tipo de aplicações de voz, dados e imagem, estando contemplados ritmos de transmissão que vão desde os 2 Mb/s até aos 622 Mb/s.

A RDIS-BL aparenta ser a solução desde há muito procurada, no sentido de se poder dispor no edifício (e também no exterior deste) de uma rede única. Este constitui o primeiro grande passo para a obtenção de níveis de integração antes considerados não possíveis ou inviáveis.

3.6.4 Os sistemas de cablagem estruturada

Os sistemas de cablagem estruturada permitem dotar o edifício de uma infra-estrutura de cablagem de grande flexibilidade e eficácia. Infra-estrutura essa que pode ser usada para suportar uma ou múltiplas redes de comunicação, abrangendo um vasto leque de aplicações (voz, dados ou imagens).

Na **Figura 12** encontra-se representada a estrutura típica de um sistema de cablagem estruturada. Em cada piso, múltiplos cabos ligam as fichas localizadas nas zonas de trabalho aos Armários de Comunicações mais próximos. Esses cabos estão localizados habitualmente sob o chão falso ou, em alternativa, no tecto falso. Este último local é usado normalmente para passar cabos adicionais para ligação de sensores (detecção de incêndio, medição de temperatura, medição de intensidade luminosa, detecção de presença) e outros dispositivos tais como unidades de controlo, alarmes, altifalantes, etc.

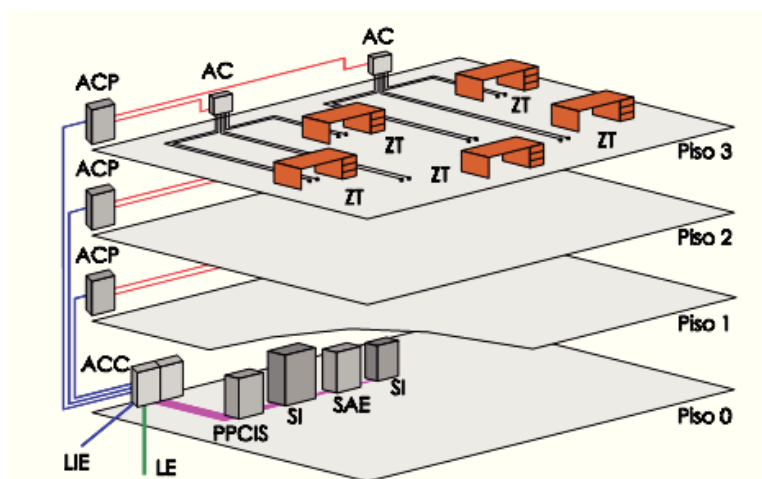


Figura 12 – Estrutura típica de um sistema de cablagem estruturada

Legenda:

- | | |
|---|--|
| AC – Armário de Comunicações | ACP – Armário de Comunicações do Piso |
| ACC – Armário de Comunicações Central | ZT – Zona de Trabalho |
| LIE – Ligação Inter-Edifícios | LE – Ligação ao Exterior |
| SI – Sistema Informático | SAE – Sistema de Automação do Edifício |
| PPCIS – Posto Privado de Comutação com Integração de Serviços | |

Em cada piso, os vários Armários de Comunicações ligam-se ao respectivo Armário de Comunicações de Piso. Estes, por sua vez, interligam-se ao Armário de Comunicações Central. Esta ligação pode ser feita recorrendo apenas a cabos de cobre ou, o que é mais comum, recorrendo ao uso de fibra óptica. Em situações em que haja necessidade de interligar vários edifícios próximos, as ligações inter-edifícios partem dos Armário de Comunicações Central e recorrem habitualmente a um misto de pares de cobre e fibra óptica. As ligações ao exterior do edifício, para acesso a centrais públicas de telecomunicações e/ou dados, fazem-se a partir do Armário de Comunicações Central.

Os diversos equipamentos de utilizador, tais como telefones, faxes, computadores pessoais e impressoras, são ligados às fichas localizadas nas zonas de trabalho,

tornando-se acessíveis ao nível dos Armários de Comunicações. O mesmo sucede com os sensores e outros dispositivos associados à automação do edifício.

Os diversos Armários de Comunicações possuem repartidores onde, de um modo muito fácil e intuitivo, se pode definir a interligação dos diversos cabos provenientes dos equipamentos. Essas interligações são feitas habitualmente recorrendo a pequenos cabos terminados por fichas normalizadas, podendo ser modificadas em qualquer momento e de forma fácil.

Embora a topologia física de base de um sistema de cablagem estruturada seja uma estrela, é possível definir sobre ela múltiplas topologias lógicas em estrela, barramento, anel ou árvore.

O enorme sucesso dos sistemas de cablagem estruturada assenta num corpo de normas que definem, entre outros aspectos, os vários tipos de meio físico e fichas. Torna-se assim possível dispor de um suporte para a comunicação, sem depender de marcas nem de fabricantes.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA

A análise de consumos permitirá a criação de um registo dos consumos do edifício. Estes registos serão efectuados de duas formas, através de dados históricos (facturação) e através de medições com analisadores de energia trifásica no Posto de Transformação do Edifício e de instrumentação variada portátil. O registo de consumos permitirá além da análise da evolução dos custos energéticos ao longo do tempo, a análise da evolução dos consumos ao longo do período de funcionamento do edifício (diagrama de cargas), assim como a validação de um modelo numérico. Com esta análise de consumos será possível aferir o nível de eficiência de utilização da energia, sendo este nível dado pela razão entre os consumos energéticos e os níveis de conforto obtidos. A análise detalhada de consumos servirá ainda para fundamentar, sempre que se justifique, a proposta de implementação de soluções alternativas ao consumo de energia. Estas soluções poderão passar pela utilização de outras formas de energia, desvios de consumos, utilização de equipamentos eficientes, etc.

A criação do modelo de simulação dinâmica foi apoiada pelo Relatório de Caracterização da Envolvente do Edifício e pelo Relatório de Auditoria Energética, ambos realizados no âmbito das auditorias energéticas para o Instituto Politécnico de Leiria.

4.1 Simulação Dinâmica: *DesignBuilder*

O objectivo da simulação dinâmica de edifícios consiste em quantificar, com o maior rigor possível, os consumos de energia necessários à manutenção das condições de conforto interiores estipuladas pelo utilizador num determinado período, tendo em conta as características da envolvente e dos sistemas activos instalados, as condições climáticas do local e avaliar o impacto da introdução de determinadas alterações na envolvente, nos sistemas de climatização, nos padrões de utilização ou controlo, em termos de economia de energia (Dias, 2011).

A simulação dinâmica, prevista para as fracções ou edifícios destina-se a permitir a desagregação da estrutura de consumos pelos usos finais, tendo em atenção as

características construtivas do edifício e dos sistemas instalados, a influência climática e a tipologia de utilização do edifício (ocupação, iluminação e equipamentos). É com base nos modelos de simulação dinâmica que se determina o valor do Indicador de Eficiência Energética (IEE), fundamental para certificar o edifício.

A simulação de edifícios pode ser definida como a introdução das características do edifício que, com um certo grau de abstracção, representem a realidade. Como um edifício é composto por milhares de variáveis, é necessário apenas representar as mais importantes e simplificar ou não introduzir as de menor importância (Silva, 2006).

Assim, para simular a realidade utilizando ferramentas de simulação é necessário executar três tarefas:

- Criação do modelo – consiste na execução de uma representação esquemática do edifício, a partir da redução do mesmo a uma forma idealizada, com um dado nível de abstracção;
- Simulação – consiste na caracterização do modelo na ferramenta de simulação e no ajuste da ferramenta de modo que os resultados obtidos reflectam o que se pretende avaliar;
- Análise de resultados – consiste na análise dos resultados obtidos pela ferramenta de simulação, de forma a produzir os indicadores de performance que se pretende quantificar.

A Legislação Portuguesa prevê o recurso a modelos de simulação dinâmica multi-zona para apoio a auditorias em grandes edifícios de serviços, e a utilização de metodologias mais simplificadas (modelos uni-zona) para os pequenos edifícios de serviços. Existe um grande número de ferramentas disponíveis para esse efeito.

Para proceder à simulação de um edifício nestes programas, é necessário dispor de um levantamento detalhado das características geométricas e construtivas do edifício, da sua organização espacial interna por zonas, dos sistemas de climatização existentes, e também dos sistemas que representem ganhos de calor interno (iluminação e outros equipamentos). Para além destes elementos, é necessário conhecer os factores de carga e de utilização (“*schedules*”) dos sistemas introduzidos e da própria ocupação. Por último, é necessário dispor do ficheiro climático para a localidade em que se localiza o edifício.

Toda a informação a introduzir deve ser a mais rigorosa possível de modo a obterem-se resultados fiáveis. Uma vez introduzida a informação relativa à caracterização de equipamentos e sistemas, o modelo deve ser “calibrado”, isto é, deve-se proceder a ajustamentos nos “*schedules*”, de forma, a que os resultados obtidos estejam de acordo com as medições efectuadas no local (Manual of DesignBuilder, 2009), (Energy Plus, 2009).

Uma das grandes vantagens da utilização de ferramentas de simulação dinâmica de edifícios consiste na avaliação, dos impactes da implementação de medidas (Virta et al., 2010), (Bertagnolio et al., 2010), (Fabry et al., 2010), (Tark & Raide, 2010).

Com vista à realização deste estudo foi proposta a utilização da ferramenta *DesignBuilder*, pelo facto de esta ser uma das ferramentas mais usadas e por constar da lista aprovada pela regulamentação portuguesa para uso no *RSECE*.

O *DesignBuilder* é uma interface gráfica que permite auxiliar e facilitar a utilização do *EnergyPlus*, que é um programa de simulação de energia em edifícios. Este programa permite desenvolver estudos de eficiência energética em edifícios existentes ou em fase de projecto.

O *EnergyPlus* foi desenvolvido a partir dos programas do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América na década de 70. Passou por várias designações ao longo dos anos, tendo vindo a ser aperfeiçoado até aos dias que correm, sempre mantendo a preocupação pela validação dos seus resultados. A validação desses é feita através de testes cujos parâmetros de comparação são definidos pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE).

No *DesignBuilder* é feita toda a modelação geométrica e implementação de dados, numa primeira fase. A segunda fase corresponde à parte de cálculo, pela qual é responsável o *EnergyPlus*.

4.2 Criação do Modelo

O modelo geométrico do Edifício Sede dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Leiria, foi conseguido através da criação de blocos separados por piso. Cada bloco foi internamente dividido por zonas, sendo que cada zona agrupa espaços destinados ao mesmo tipo de actividade e com a mesma orientação solar. Esta partição ajuda à

simplificação do modelo, tornando-o mais leve e por consequência, favorecendo o cálculo no que respeita ao tempo de simulação.

A **Figura 13** e a **Figura 14** ilustram a modelação geométrica elaborada com vista à obtenção do edifício caso de estudo.

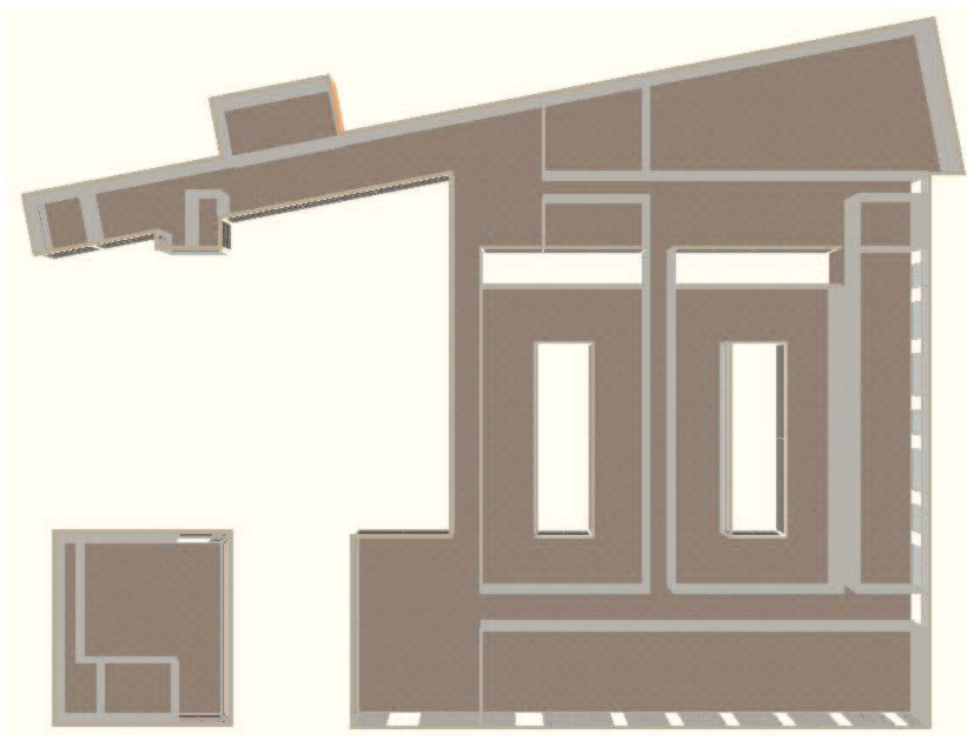


Figura 13 – Bloco construtivo do Piso 0

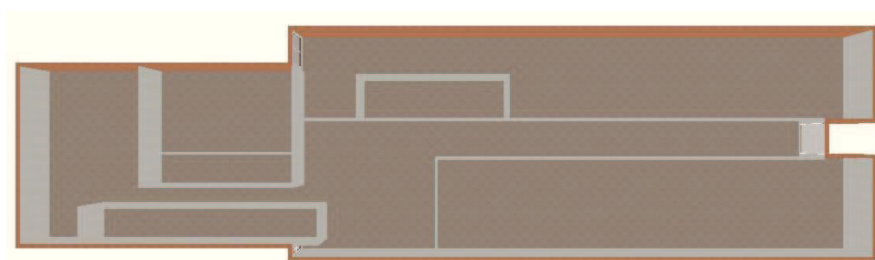


Figura 14 – Bloco construtivo do Piso 1

O *DesignBuilder* permite uma modelação em 3D, conseguindo-se desta forma uma modelação realista de um edifício em várias vertentes, entre as quais se destaca a espessura das paredes, janelas, lajes, molduras de janelas a contabilização das sombras criadas por edificações circundantes, ou até mesmo conceber dispositivos de sombreamento interior e exterior.

Na **Figura 15** observa-se uma vista do modelo final elaborado com vista à simulação dinâmica objecto de estudo.



Figura 15 – Modelação geométrica do edifício

Uma vez definido o modelo geométrico, define-se a orientação do edifício, relativamente ao norte geográfico e definem-se os materiais e soluções construtivas dos elementos.

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

- “*Activity*” – dados referentes ao tipo de actividade realizada em determinada zona. Exemplo: horário e densidade de ocupação, densidade de iluminação, consumo de água quente sanitária, quantidade de ar novo insuflado, etc.;
- “*Construction*” – dados referentes ao tipo de construção e material;
- “*Openings*” – dados referentes a aberturas no edifício. Exemplo: janelas, cortinados, portas, tipo de vidro, etc.;
- “*Lighting*” – dados referentes à iluminação. Exemplos: tipo de iluminação, horário, etc.;
- “*HVAC*” – dados referentes aos equipamentos de climatização, aquecimento de águas sanitárias e ventilação natural. Exemplos: energia auxiliar utilizada nos equipamentos de AVAC, tipo de energia utilizado em cada caso, etc.

O *DesignBuilder* oferece uma série de bibliotecas predefinidas que possibilitam de uma forma simples escolher uma base de dados climáticos através da simples selecção de uma região, tipo de materiais de construção e ainda actividades e sistemas de utilização. De ressaltar ainda o facto de que a todos estes perfis estão inerentes horários com densidades de utilização. O programa tem ainda a funcionalidade de criar “*templates*”

sobre os assuntos abordados precedentemente de forma a extrapolá-los para outras situações que apresentem funções similares.

Relativamente a dados de entrada (*inputs*), estes são fornecidos pelo utilizador através de menus elementares. São exemplo de *inputs*, as características de envolvente, ou seja, de materiais que constituem o tipo de construção; actividades e ocupações; densidades de iluminação; e ainda sistemas de AVAC para a eventualidade da existência destes. É ainda permitido modificar ou corrigir estes dados a qualquer instante e a nível geral do edifício ou a nível particular de uma só zona que tenha características peculiares.

O processo de simulação de cada um dos casos é caracterizado por vários indicadores, destacando-se os seguintes:

$$\text{Densidade Ocupacional} = \frac{\text{Ocupação}}{\text{Área}} = \text{pessoas/m}^2 \quad (1)$$

$$\text{Densidade de Iluminação} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} = \text{W/m}^2 \quad (2)$$

$$\text{Ventilação Mecânica} = \frac{\text{Fluxo de Ar}}{\text{Área}} = \text{l/s.m}^2 \quad (3)$$

$$\text{Computadores e Equipamentos de Escritório} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} = \text{W/m}^2 \quad (4)$$

Para alguns destes parâmetros tomaram-se por referência os valores típicos para um edifício de serviço, referenciados no Decreto-Lei n.º 79/2006 (RSECE). Os restantes parâmetros foram atribuídos em função da instalação existente.

Relativamente à caracterização climática, por simplicidade e proximidade, considerou-se a localização em Coimbra, uma vez que o programa já contém arquivos climáticos do *Meteornorm* (temperaturas, humidades, densidade do ar, direcções do vento, radiação directa, indirecta e difusa), referentes a esta localidade.

Os parâmetros de saída (*outputs*), permitem analisar uma panóplia de resultados, podendo estes ser detalhados até intervalos horários. Estes intervalos, somente apresentam a desvantagem de tornar a simulação mais morosa. Destacam-se como principais variáveis que resultam das simulações o consumo energético discriminado, resultados relacionados com conforto, nomeadamente temperaturas interiores e humidade relativa, e ainda consequentemente índices que possibilitam concluir acerca deste estado de bem-estar interior.

4.3 Caracterização do Modelo

Por forma a ir de encontro aos objectivos da presente dissertação, a simulação dinâmica foi efectuada para quatro casos distintos:

- *Caso 1* – o mais aproximado possível dos consumos reais do Edifício Sede dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Leiria (Modelo de Calibração);
- *Caso 2* – partindo do Modelo de Calibração, simula-se a existência de um sistema de controlo de iluminação;
- *Caso 3* – partindo do Modelo de Calibração, simula-se a existência de um sistema de controlo de AVAC;
- *Caso 4* – partindo do Modelo de Calibração, simula-se a existência de um sistema de controlo de AVAC e iluminação.

O modelo de calibração, à imagem da realidade do edifício estudo de caso, foi calibrado de forma a fazer-se notar a ausência de qualquer sistema de gestão/controlo da iluminação e da temperatura dentro do edifício. Na comparação de este modelo com os restantes casos, espera-se conseguir quantificar o potencial de poupança proveniente do aproveitamento da iluminação natural, do controlo dos horários de funcionamento dos equipamentos de climatização, bem como da limitação das temperaturas de conforto pedidas pelos ocupantes do edifício.

No que respeita ao *Caso 2*, a simulação de um sistema de controlo de iluminação é conseguida pela activação da opção *Lighting Control* no separador *Lighting*. Ao activar esta opção, há que definir qual o tipo de controlo a utilizar. Aqui a opção escolhida foi um controlo do tipo *Linear/Off*, que permite ajustar a intensidade da iluminação artificial em função da luminosidade natural, com base na leitura de sensores de luminosidade devidamente espalhados pelas várias zonas do edifício. Com este tipo de controlo, os circuitos de iluminação são automaticamente desligados assim que é alcançado um nível mínimo de luminosidade previamente definido.

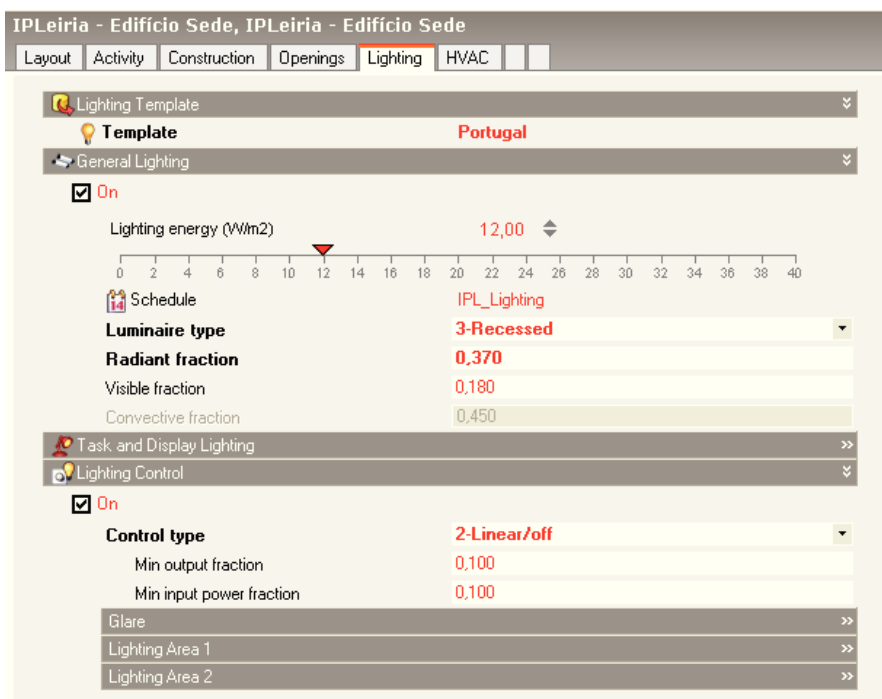


Figura 16 – Separador de configuração dos parâmetros de iluminação no *DesignBuilder*

O aproveitamento da iluminação natural através da utilização de sistemas de controlo da iluminação artificial pode minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial. O mesmo se verifica com o uso de sensores de presença e temporizadores para áreas com ocupação intermitente.

Quanto ao *Caso 3*, optou-se por separar o mesmo em dois sub-casos, fazendo duas simulações:

- *Caso 3.a* – o sistema de controlo da temperatura apenas actua sobre os horários de trabalho dos equipamentos de climatização;
- *Caso 3.b* – o sistema de controlo da temperatura, além dos horários de trabalho dos equipamentos de climatização, actua também sobre os *Setpoints* de temperatura definidos.

Neste último caso, o objectivo é avaliar o potencial de poupança sobre a limitação da temperatura de conforto máxima e mínima dos espaços a climatizar, quando comparado com o *Caso 3.a*.

O factor comportamental dos ocupantes do edificio pode levar a gastos desnecessários de energia. Quando é dada a possibilidade de controlo aos ocupantes, há tendência para que estes definam uma temperatura de conforto para além do que é tido como referência.

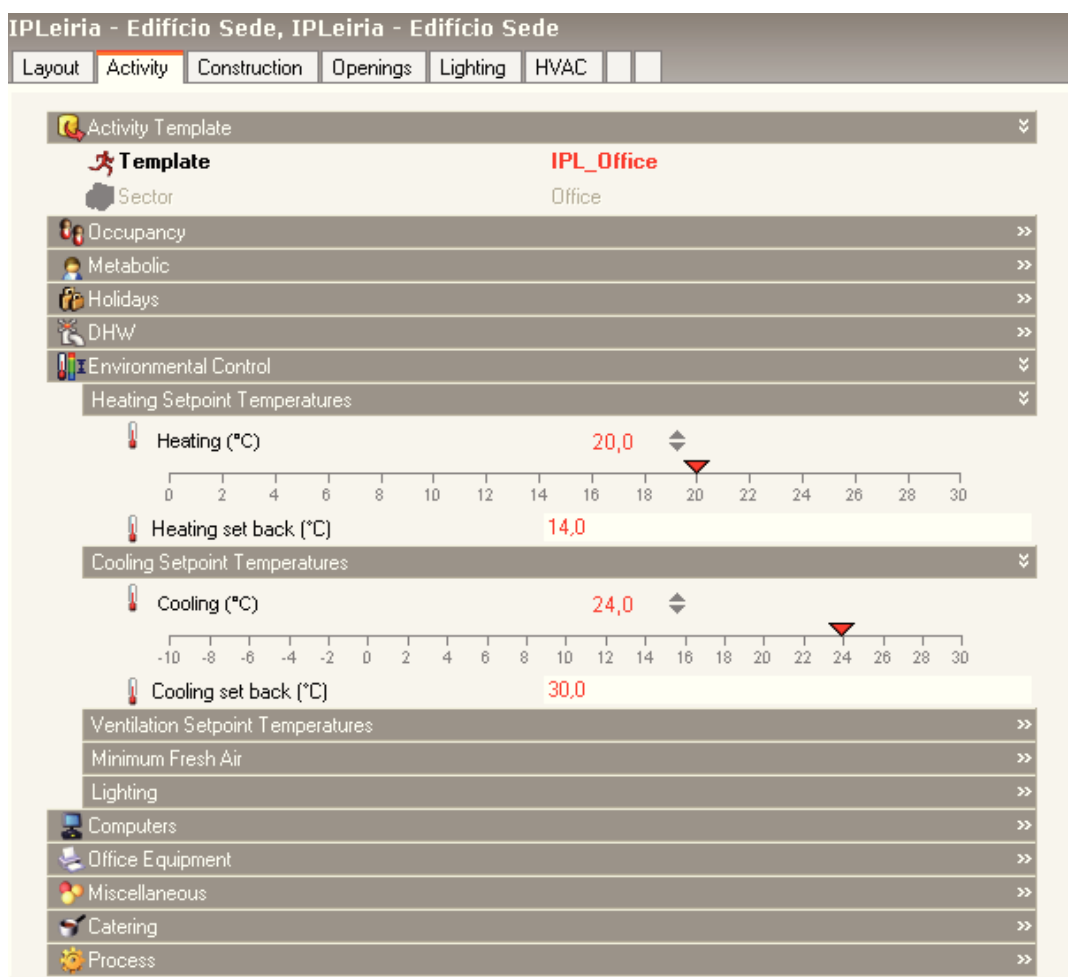


Figura 17 – Separador de configuração dos parâmetros de actividade no *DesignBuilder*

Por fim, no Caso 4, a pretensão de assegurar para o edifício um sistema de gestão capaz de controlar simultaneamente os sistemas de climatização e iluminação do edifício estudo de caso, levou à realização de uma simulação dinâmica que conjuga as medidas simuladas nos casos 2 e 3.b. Com a simulação de uma solução deste género, prevê-se uma redução bastante significativa dos consumos energéticos do edifício.

Para qualquer das simulações a efectuar, é esperado que seja também proporcionado ao utilizador a possibilidade de analisar e concluir quanto a balanços de energia às envolventes opacas (pavimentos/tecto, paredes, cobertura, etc.) e envidraçadas, assim como obter cargas de aquecimento e de arrefecimento. A produção de GEE, particularmente em toneladas de CO₂, é igualmente produto das simulações.

Na **Tabela 1** são apresentados de forma resumida os parâmetros gerais e específicos utilizados no processo de simulação dos diferentes casos a analisar na presente dissertação.

Tabela 1 – Parâmetros gerais definidos para os diferentes estudos de caso

Parâmetros	Caso 1	Caso 2	Caso 3.a	Caso 3.b	Caso 4
Ocupação [pessoas]					
Área [m ²]	2616				
Volume [m ³]	7850				
Iluminação [W]	32720				
Águas Quentes Sanitárias [l]	0				
Densidade Ocupacional [pessoas/m ²]	0,10				
Densidade Iluminação [W/m ²]	13				
Taxa Mínima Ar Fresco [l/s.pessoas]	8,33				
Ventilação Mecânica [l/s.m ²]	1,39				
Computadores [W/m ²]	3				
Equipamento Escritório [W/m ²]	2				
Diversos	0				
Restauração	2				
Processo	0				
<i>Set Point</i> de Aquecimento	22			20	
<i>Set Back</i> de Aquecimento	17			14	
<i>Set Point</i> de Arrefecimento	22			24	
<i>Set Back</i> de Arrefecimento	27			30	
Controlo de Sombreamento	Solar				
Controlo de Iluminação	On (Linear/Off)	Off	On (Linear/Off)		Off

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo pretende-se apresentar de forma sucinta o edifício alvo no estudo de caso. Os dados apresentados de seguida são baseados no relatório de auditoria energética do Edifício Sede dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Leiria, realizado pelo INESCC – Delegação de Leiria. O seu objectivo é caracterizar os consumos de energia do edifício por fonte energética, discriminando os principais sectores e equipamentos de consumo.

5.1 Generalidades Do Edifício

5.1.1 Localização e funcionamento

Tal como é descrito na introdução, o edifício em estudo alberga a Sede dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Leiria.



Figura 18 – Serviços Centrais do IPLeia

Este edifício está localizado na periferia da zona urbana de Leiria, tendo sido construído no ano 2002. Trata-se de um edifício com uma área útil de pavimento de 2616 m², divididos por dois pisos, e com a fachada principal orientada a Sudeste.

O edifício é quase na sua totalidade constituído por escritórios de serviços e gabinetes. Possui também um auditório e algumas salas, para além dos lavabos, do bar e algumas zonas técnicas.

O horário de funcionamento em vigor para os serviços prestados no edifício é apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Horário de Funcionamento do edifício dos Serviços Centrais

Horário de Funcionamento	
Segunda a Sexta-Feira	09h00 às 17h30
Sábados, Domingos e Feriados	Encerrado

5.1.2 Zona climática

Observando a **Figura 19**, verifica-se que o edifício está inserido na zona climática I2,V1 – Norte, de acordo com o anexo III 1.1 e Quadro III.1 do Decreto-Lei nº 80/2006.

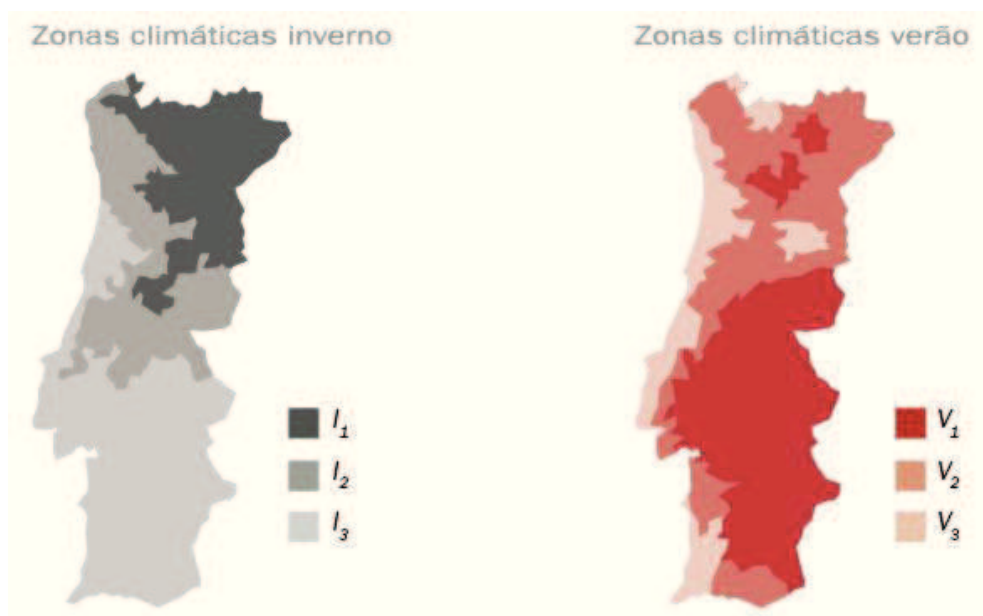


Figura 19 – Zonas climáticas de Portugal Continental (Inverno e Verão)

5.1.3 Caracterização do edifício

O edifício é constituído por dois pisos, sendo a sua área útil de pavimento distribuída da seguinte forma:

- Piso 0: 1716 m²
- Piso 1: 900 m²
- Total área útil de pavimento: 2616 m²

O pé direito médio do edifício é de 3,1 m no piso 0 e de 3 m no piso 1.

A envolvente exterior do edifício é caracterizada principalmente por paredes duplas em tijolo com caixa-de-ar e isolamento térmico pelo interior, revestidas a reboco tradicional, pintado a cor branca ou com revestimento em chapa de alumínio de cor branca ou com painéis de madeira de cor castanha.



Figura 20 – Vista exterior do edifício

O edifício é composto por diversos tipos de vãos envidraçados, dependendo da sua utilização e função. Existem diversos vãos com vidro simples ou duplo incolor, com janela fixa ou giratória, tendo caixilharia de alumínio com corte térmico.

Tabela 3 – Área de fachadas do edifício dos Serviços Centrais em função da orientação

Orientação	Área das fachadas		Área vãos envidraçados		Área Total Fachadas (m ²)	Área Total Vãos Envidraçados	
	(m ²)	(%)	(m ²)	(%)		(m ²)	(%)
NE	423,17	22,09	220,17	26,68	1915,93	825,17	43,07
SE	679,46	35,46	273,05	33,09			
SW	355,12	18,53	242,62	29,40			
NW	458,18	23,91	89,33	10,83			

O edifício apresenta alguns sistemas de sombreamento para protecção contra a entrada directa de sol no interior.

Alguns dos envidraçados possuem sombreamento exterior com palas de betão. Os vãos envidraçados possuem ainda um sistema de sombreamento interior. O sombreamento é efectuado por estores venezianos de lâminas metálicas, como se pode visualizar na **Figura 21**.



Figura 21 – Aspecto dos sombreamentos

5.1.4 Caracterização geral da instalação eléctrica

O edifício é essencialmente constituído por gabinetes administrativos. Para além destes, é de referir a existência de um auditório e uma cafetaria localizados no Piso 0.

Como referência para efeitos de estimativa de necessidades energéticas, quantificação de economias energéticas e outros cálculos, recorreu-se a um ano típico, que foi obtido com base na média dos consumos de energia registados nos anos de 2008 e 2009.

Na **Tabela 4** apresenta-se a repartição por fonte de energia dos consumos, custos e emissões de CO₂ equivalentes, para o ano típico.

Tabela 4 – Consumos energéticos, custos e emissões de CO₂e

Forma de energia	Energia Final [kWh]	Energia Primária [kgep]	Encargos [€]	Emissões CO ₂ [tCO ₂ e]
Energia Eléctrica	164.874	47.813	12.300	57,4

5.1.4.1 Sistemas de iluminação

Com o objectivo de caracterizar o sistema de iluminação do edifício foi efectuado um levantamento do número de luminárias e lâmpadas, modo de controlo e tecnologia utilizada nos diferentes espaços.

A potência instalada para iluminação artificial no edifício é de 32,72 kW. Com base na caracterização efectuada, foi possível efectuar uma distribuição da potência instalada por tipo de tecnologia. Esta distribuição pode observar-se no **Gráfico 6**.

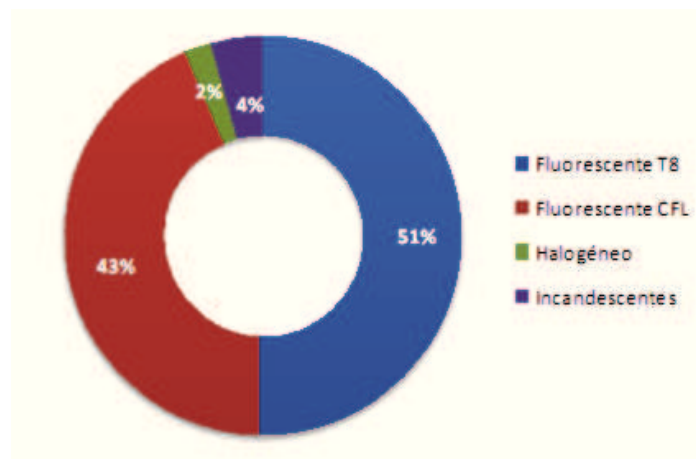


Gráfico 6 – Distribuição da potência instalada para iluminação por tipo de lâmpada

O edifício apresenta uma densidade de potência para iluminação de 12,51 W/m².

Relativamente aos sistemas de comando e controlo dos sistemas de iluminação, existem genericamente três métodos distintos.

A iluminação do edifício é controlada principalmente através de, interruptores e/ou comutadores de lustre e automáticos de escada controlando 1 ou 2 circuitos, dependendo da área do espaço. Em alguns espaços descritos, o comando é efectuado através de interruptores modulares instalados nos quadros eléctricos do respectivo local.

Relativamente aos espaços de instalações sanitárias, o controlo de iluminação é efectuado principalmente através de sensores de ocupação.

5.1.4.2 Sistemas informáticos

Existem 118 computadores no edifício, principalmente, nos gabinetes e espaços administrativos, representando uma potência aproximada de 12,50 kW. Todos os computadores existentes no edifício estão equipados com monitores de cristais líquidos, mais concretamente, TFT.

Além dos computadores e monitores, existem ainda 44 impressoras e 7 fotocopiadoras.

5.1.5 Caracterização dos sistemas de AVAC

O edifício possui um sistema centralizado de produção de energia térmica, para aquecimento e arrefecimento. Este sistema é constituído por uma bomba de calor instalada numa área técnica, e por uma rede de distribuição térmica para abastecimento dos módulos ventilo-convectores e das unidades de tratamento de ar (UTA's) existentes nos espaços a climatizar.

A bomba de calor apresenta as seguintes características:

Tabela 5 – Características da bomba de calor

Marca	Modelo	Potência térmica		Fluido frigorígeno
		Arrefecimento (kW)	Aquecimento (kW)	
Carrier	30RH 200	179	194	HFC-407C

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Dado que o principal objectivo desta dissertação está relacionado com a influência dos Sistemas de Gestão Técnica nos consumos dos edifícios de serviços, a análise dos dados resultantes das simulações efectuadas no *DesignBuilder*, consistiu na distribuição dos consumos por sector e na elaboração do diagrama de cargas para cada caso.

6.1 Caso 1

Tal como referido anteriormente, o Caso 1 consiste no Modelo de Calibração, isto é, o caso que mais se aproxima dos consumos reais do Edifício Sede dos Serviços Centrais do Instituto Politécnico de Leiria.

Da análise efectuada aos resultados de uma simulação num espaço temporal de um ano civil, resulta o **Gráfico 7**. Sendo este caso a referência para o presente estudo, o diagrama de cargas será termo de comparação na análise dos restantes casos.

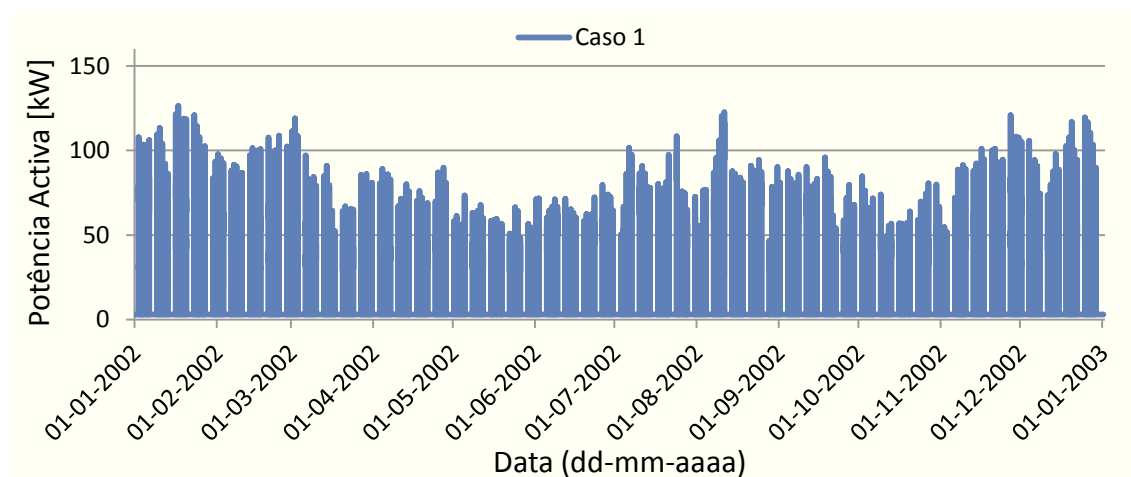


Gráfico 7 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1)

Analisando o **Gráfico 8**, constata-se que o sistema de iluminação representa 44,43% do consumo total de energia eléctrica do edifício. Seguem-se os sistemas de climatização, representando 23,92% para o aquecimento e 16,26% para o arrefecimento, e por fim os equipamentos associados à actividade do edifício, tais como equipamento informático, representando 14% do consumo total de energia eléctrica.

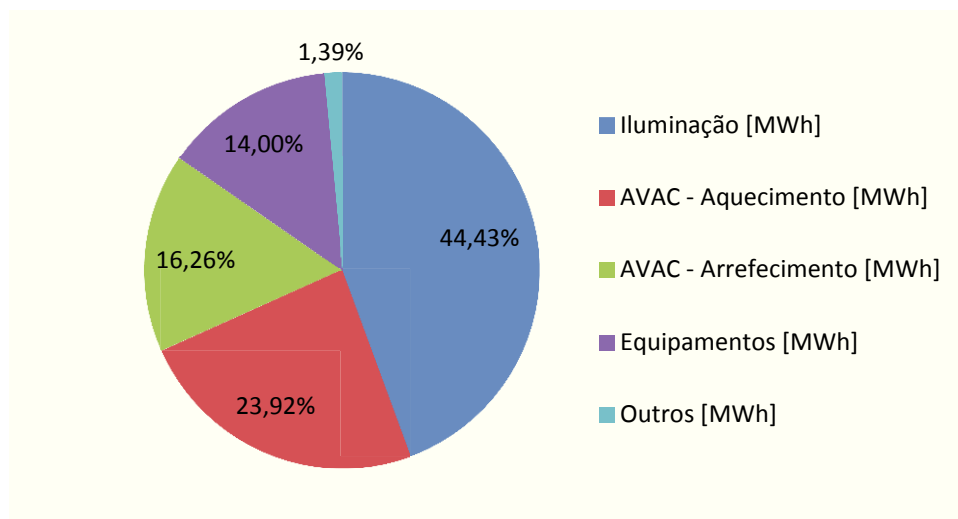


Gráfico 8 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 1)

6.2 Caso 2

No Caso 2, o objectivo é verificar a influência de um sistema de controlo da iluminação nos consumos do edifício. Para tal, é efectuada a simulação com um controlo automático, não dependendo o mesmo dos utilizadores.

Da análise efectuada aos resultados de uma simulação num espaço temporal de um ano civil, resulta o Gráfico 9.

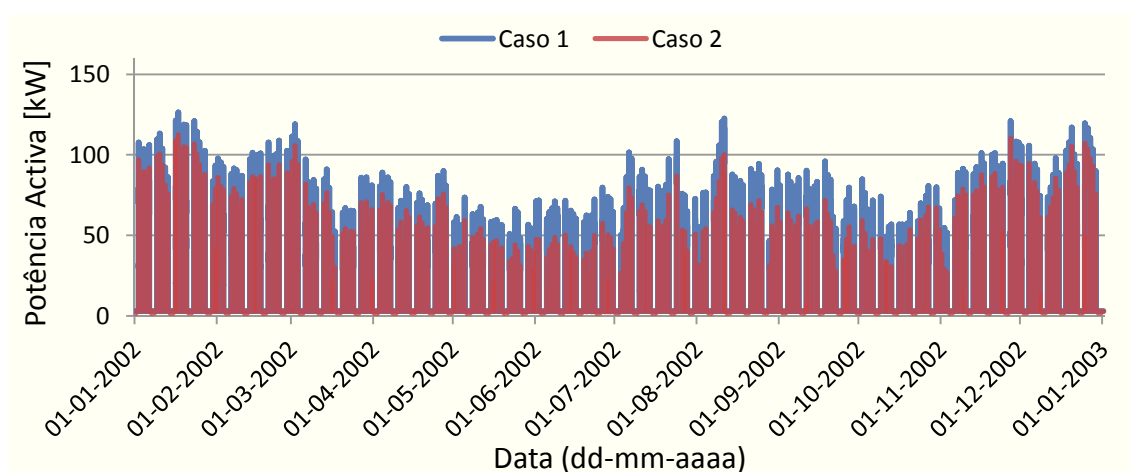


Gráfico 9 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 2)

Comparativamente com o Caso 1 em que não existe um controlo linear da iluminação artificial em função da radiação solar, é notória uma redução da energia consumida pelo edifício ao longo do ano, com uma variação mais acentuada entre os meses de Março a Novembro. Esta situação, não é somente resultado directo da redução no consumo em

iluminação, mas também, da redução do consumo energético necessário para arrefecimento do edifício nos meses de maior incidência solar.

O facto de haver um sistema automático de controlo da iluminação resulta numa diminuição da temperatura no interior do edifício, criando uma menor exigência no que respeita às necessidades de arrefecimento.

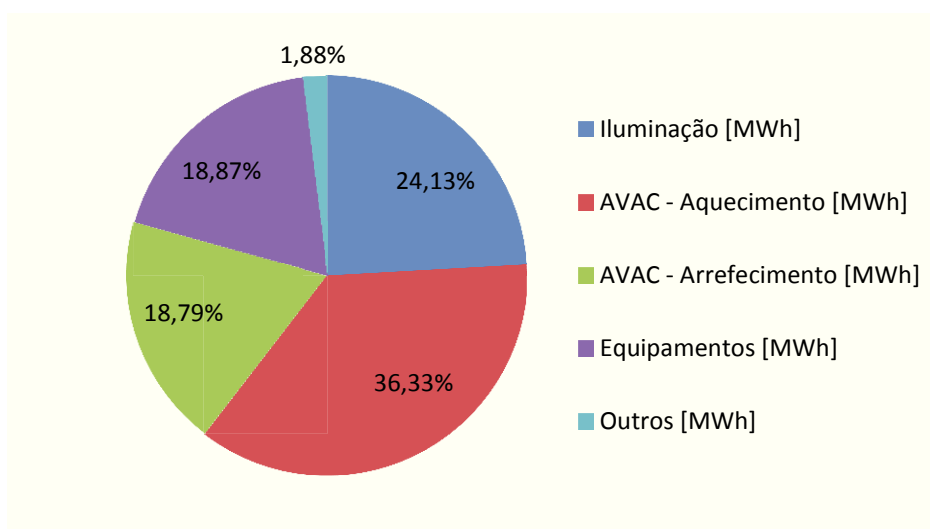


Gráfico 10 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 2)

Analisando o **Gráfico 10**, constata-se que o sistema de iluminação deixa de ser o principal consumidor do edifício, representando apenas 24,13% do consumo total do edifício. Desta forma, surgem os sistemas de aquecimento como maior fonte de consumo de energia eléctrica.

6.3 Caso 3

No Caso 3, o objectivo é verificar a influência do sistema de controlo da climatização nos consumos do edifício. Como foi referido anteriormente, optou-se por avançar com a simulação deste caso em dois passos.

6.3.1 Caso 3.a

A simulação é efectuada para reflectir a implementação de um sistema de controlo dos sistemas de climatização com recurso apenas à alteração dos horários de funcionamento foi o primeiro passo. Nesta situação, como se pode verificar no **Gráfico 11**, não são conseguidas poupanças energéticas relevantes porque, por questões de conforto, optou-se por não se proceder a uma alteração muito significativa dos horários de

funcionamento, dados que os existentes actualmente já são relativamente rigorosos do ponto de vista da eficiência.

A curta redução conseguida torna-se mais facilmente visível no modo de apresentação de resultados ilustrado no **Gráfico 17**, apresentado mais à frente neste capítulo.

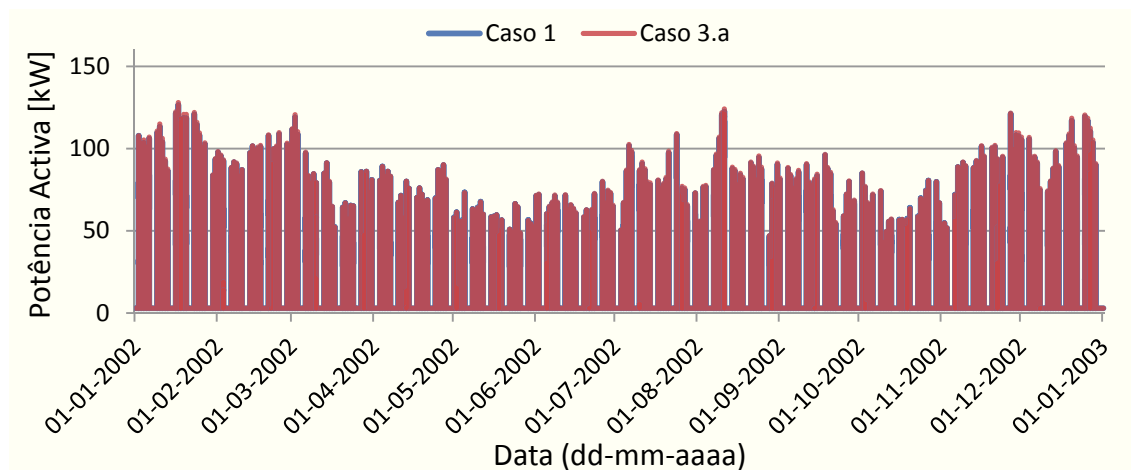


Gráfico 11 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 3.a)

Como se pode observar no **Gráfico 12**, na comparação com o Caso 1 verifica-se que a energia eléctrica consumida pelo edifício tem um ligeiro decréscimo nos sectores referentes ao aquecimento e arrefecimento, tal como esperado.

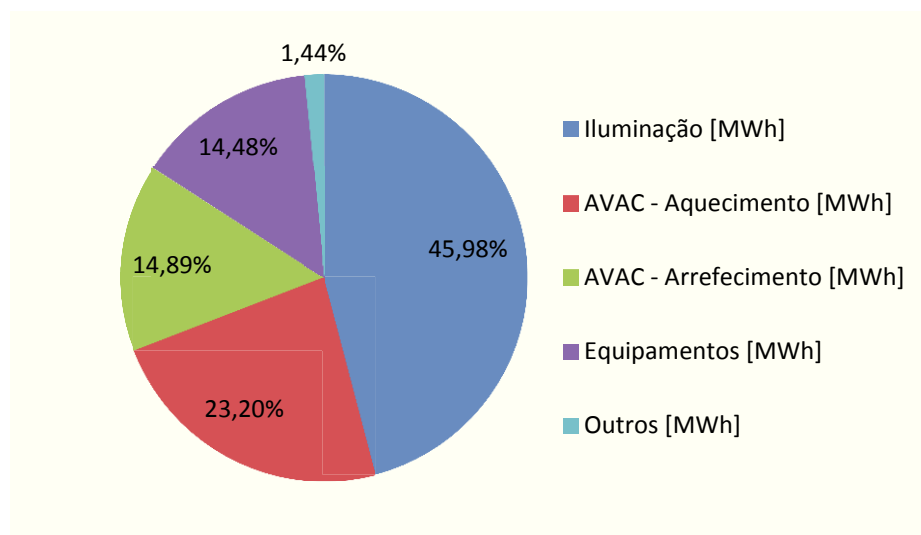


Gráfico 12 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 3.a)

6.3.2 Caso 3.b

De forma a complementar a simulação do edifício estudo de caso munido de um sistema de controlo dos sistemas de climatização, às alterações implementadas no caso 3.a, foram acrescentadas neste segundo passo alterações da gama de temperaturas entre as

quais os sistemas de climatização estão em funcionamento. Nesta situação, tenta-se recriar a ideia de que os utilizadores tendem a definir *setpoints* mais além do que por regra pode ser considerado um ponto de conforto.

Da análise efectuada aos resultados de uma simulação num espaço temporal de um ano civil, resulta o **Gráfico 13**.

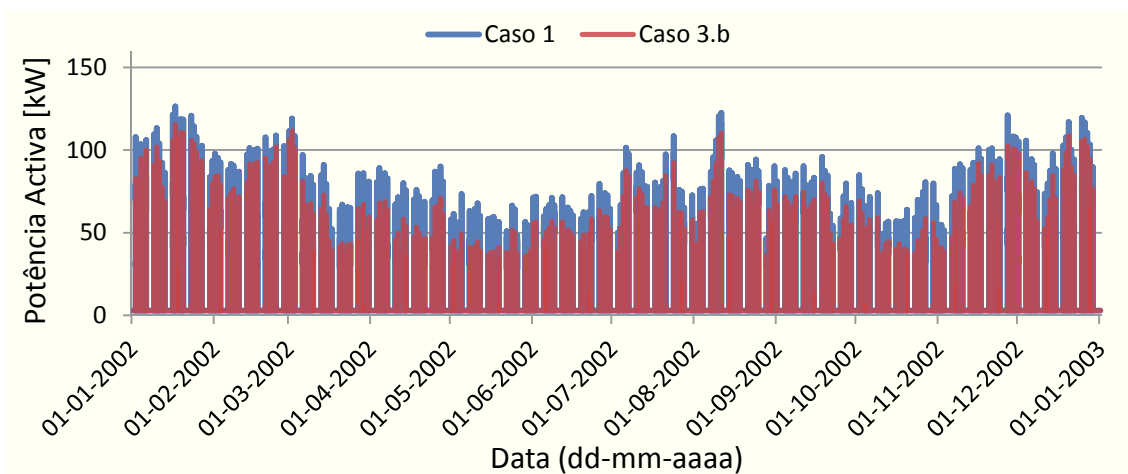


Gráfico 13 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 3.b)

Quando comparado com o Caso 1, verifica-se que, a energia consumida pelo edifício ao longo do ano diminui, sendo essa variação bastante homogênea em todo o período de simulado.

Ao analisar o **Gráfico 14** e comparando com o Modelo de Calibração, verifica-se que há uma diminuição considerável nos consumos energéticos das parcelas referentes à climatização face às restantes.

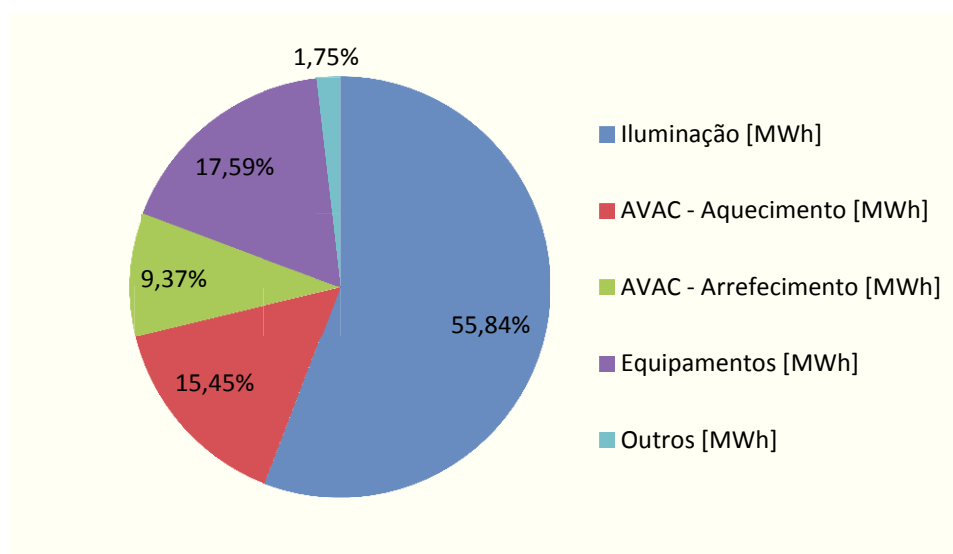


Gráfico 14 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 3.b)

Neste caso, torna-se evidente a diminuição das necessidades de aquecimento do edifício. Esta situação está de acordo com o esperado, sendo óbvio que uma diminuição dos *setpoints* levaria a uma diminuição dos consumos. No entanto, tal situação pode também em parte ser justificada pelo facto de o edifício ser constituído por uma grande área de envidraçados, o que conduz a mais perdas térmicas nas estações frias e, maiores ganhos nas estações quentes.

6.4 Caso 4

Quando se conjuga a implementação de sistemas de controlo de iluminação e de climatização no edifício, verifica-se que há uma redução bastante significativa e relativamente constante da energia eléctrica consumida pelo edifício ao longo do ano.

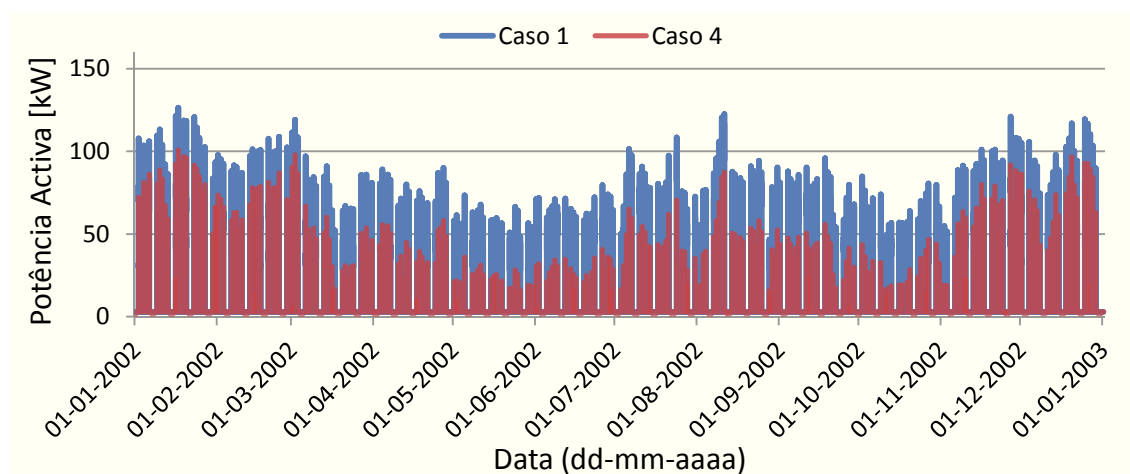


Gráfico 15 – Diagrama de cargas anual do Edifício alvo de estudo (Caso 1 vs Caso 4)

Tal como seria de prever e à semelhança do caso 2, nesta simulação também houve uma variação dos consumos afectos à climatização, provocada pela redução dos consumos na iluminação. Desta forma, a utilização de um sistema automático de controlo da iluminação leva a uma diminuição da temperatura no interior do edifício. Daí que, ao comparar esta simulação com o caso 3.b, verifica-se que a redução dos consumos em climatização não é tão notória nas necessidades de aquecimento, sendo em contrapartida mais eficaz nas necessidades de arrefecimento.

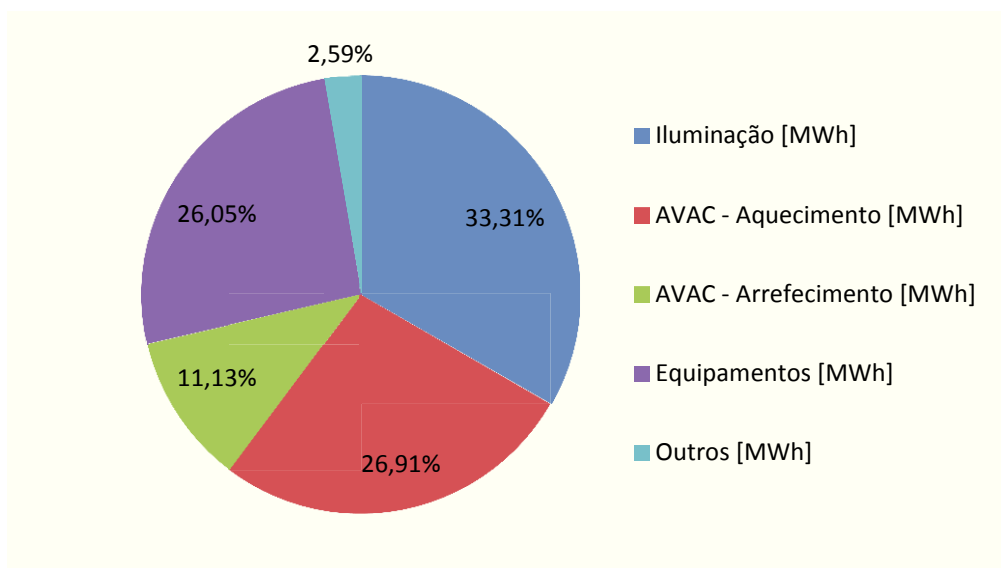


Gráfico 16 – Distribuição dos consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo (Caso 4)

6.5 Comparação dos Diferentes Casos

No **Gráfico 17** pode-se visualizar de uma forma mais perceptível toda a análise feita até este ponto.

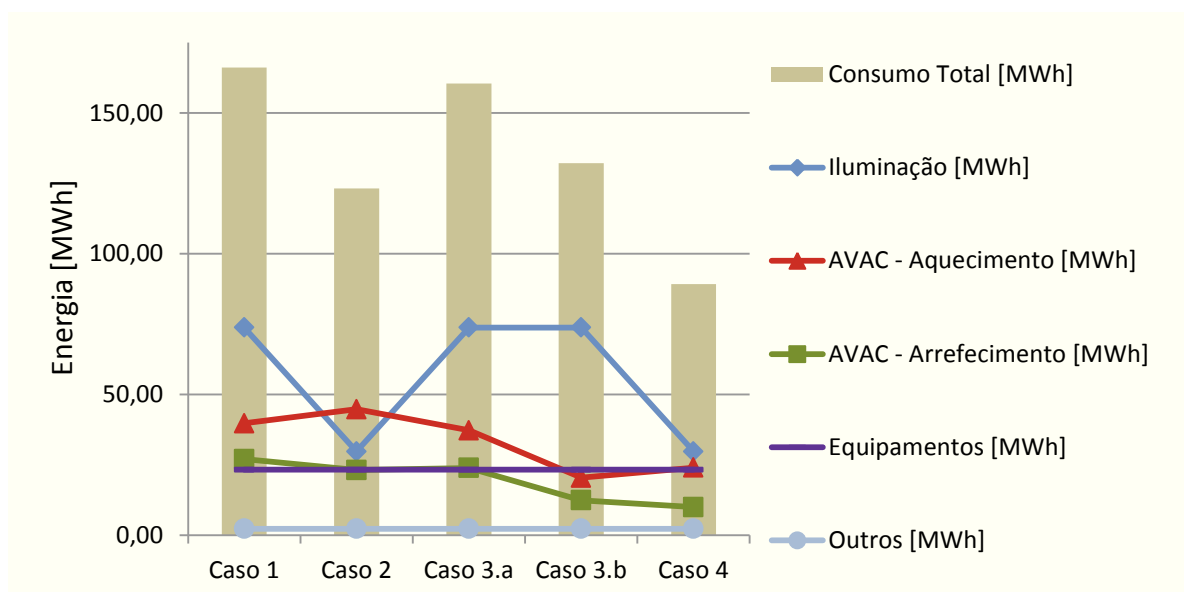


Gráfico 17 – Consumos anuais de energia do Edifício caso de estudo por sector, para cada caso

A **Tabela 6** serve de comparação entre os consumos reais do edifício caso de estudo, e os resultados das várias simulações efectuadas. É também apresentado o desvio em percentagem.

Tabela 6 – Desvios dos consumos face aos consumos reais

	Energia eléctrica [kWh]	Desvio Total (%)
<i>Auditoria (Real)</i>	164.874,00	---
<i>Caso 1</i>	166.042,02	0,708
<i>Caso 2</i>	123.147,43	-25,308
<i>Caso 3.a</i>	160.442,92	-2,688
<i>Caso 3.b</i>	132.115,13	-19,869
<i>Caso 4</i>	89.207,88	-45,893

A implementação de um sistema de controlo da iluminação artificial simulada no caso 2, resulta numa redução de aproximadamente 25% no consumo energético anual do edifício. Esta redução é maioritariamente fruto da diminuição no consumo de energia na própria iluminação, não obstante a sua influência nos consumos energéticos em climatização.

No que respeita à implementação de um sistema de controlo da climatização simulado no caso 3, esta pode resultar numa redução de aproximadamente 20% no consumo energético anual do edifício, exclusivamente pela redução dos consumos neste sector.

Já no caso 4, o facto de se conjugarem as medidas tomadas para o caso 2 e caso 3, não nos permite afirmar que as reduções nos consumos energéticos sejam o resultado da soma das reduções de cada um desses casos. Esta situação resulta do facto de a existência de controlo da iluminação ter influência directa nos consumos em climatização, devido à redução de temperatura resultante da menor utilização dos circuitos de iluminação.

De uma forma resumida, pode-se balizar que a implementação de sistemas de gestão técnica num edifício de serviços pode resultar em aumentos de 20 a 46% nos consumos energéticos do mesmo.

Tal como que verifica na **Tabela 7**, as simulações mostram que apesar de tudo, para qualquer um dos casos simulados, o edifício caso de estudo alcança o IEE de referência (40 kgep/m².ano) para um edifício de serviços.

Tabela 7 – Índice de Eficiência Energética

	Energia eléctrica [kgep]	Área (m ²)	IEE [kgep/m ² .ano]
<i>Auditoria (Real)</i>	47.813,46	2.616	18,28
<i>Caso 1</i>	48.152,19		18,41
<i>Caso 2</i>	35.712,75		13,65
<i>Caso 3.a</i>	46.528,45		17,79
<i>Caso 3.b</i>	38.313,39		14,65
<i>Caso 4</i>	25.870,29		9,89

No sentido de obter resultados elucidativos acerca do “*Edificio Sede*”, foram estudados vários tipos de recolha e medições (relatórios de auditorias), o que levou a um tratamento de dados, cujos resultados foram apresentados no ponto anterior. Da análise desses resultados surgiu um conjunto de directrizes para promover a eficiência energética do edifício.

6.6 Oportunidades de Melhoria

O edifício apresenta uma densidade de potência para iluminação de 12,5 W/m², um valor não exagerado em termos médios, mas que pode ser reduzido, nomeadamente pela análise da luminância em alguns espaços e pela substituição de lâmpadas fluorescentes T8 por T5, mais eficientes. De resto, como já demonstrado, é de particular importância o controlo da iluminação.

Uma medida recomendada seria sensibilizar *todos os utilizadores* para a correcta utilização dos sistemas de sombreamento, evitando assim o encerramento total dos painéis, que leva por sua vez, ao aumento desnecessário de consumo de energia eléctrica em iluminação interior, assim como sensibilizar *todos os utilizadores*, para a correcta utilização dos equipamentos, evitando consumos de energia desnecessários como a utilização em *stand-by* de certos equipamentos.

A área fenestrada provoca enormes perdas térmicas na estação de aquecimento, e sobreaquecimento na estação de arrefecimento, pois o Edifício Sede possui uma grande percentagem de vãos envidraçados virados a Norte.

A adopção de um eficiente isolamento térmico da envolvente, possibilitaria a redução dos consumos de energia.

O “*set point*” da temperatura do ar pode algumas vezes ser modificado segundo as alterações das condições externas e internas, maximizando a eficiência energética.

Outra opção muito relevante consiste em utilizar ar fresco exterior à noite, no Verão, para arrefecer o edifício e poupar energia de arrefecimento através do designado “*free cooling*”, eliminando, além do mais a maioria dos contaminantes acumulados, provenientes da renovação do ar.

Uma última opção consiste na utilização de estratégias de controlo de cargas e redução da ventilação de ar exterior durante as horas em que não se encontrem ocupantes nos edifícios.

Os resultados das simulações efectuadas nesta dissertação mostram que é possível conseguir boas condições de conforto reduzindo energia. O que indica que em edifícios com bons projectos é mais fácil chegar a boas soluções. As simulações de computador mostram que é necessário uma estratégia adequada de controlo, para responder correctamente às condições térmicas interiores e exteriores que condicionam o comportamento do edifício (horários).

É também muito importante ter a noção perfeita da ocupação dos edifícios, para calibrar o modelo, pois pode levar a desvios muito significativos.

Usando a metodologia aplicada a este estudo de caso torna-se possível avaliar sistematicamente a sustentabilidade dos edifícios. Os resultados desta pesquisa podem ser generalizados a outros edifícios, onde o clima e as condições de operação são na maioria das vezes semelhantes.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho permite concluir que o estudo de eficiência energética, mais do que simplesmente um processo formal, pode constituir-se como um factor de introdução de boas práticas nas organizações, potenciando a racionalização de energia e melhoria dos meios tecnológicos e humanos e estabelecendo novas oportunidades para a inovação e investigação.

As simulações realizadas representam o Edifício Sede do IPL, utilizando as medições realizadas numa auditoria para calibrar o modelo de simulação. Existe a necessidade de avançar com novas investigações baseadas em diferentes tipos de controlo, por forma a analisar o acoplamento a fontes de energia renovável e de recuperação e, minimizar as necessidades energéticas.

Com a nova Directiva (*nearly zero buildings*) e o objectivo da diminuição do consumo de energia, é importante esclarecer os problemas que podem ocorrer quando diminuirmos a factura de energia. A poupança de energia não deve ocorrer em detrimento da qualidade do ambiente interior.

Os sistemas de ventilação mecânicos são efectivamente necessários mas impõem consumos de energia elevados. Uma vez que a maioria destes sistemas não recorre a sensores de temperatura exteriores nem a sensores de CO₂ e temperatura interiores, os consumos de energia são naturalmente mais elevados do que poderiam ser por mau controlo dos sistemas, não contando o sistema com as cargas internas nem com as temperaturas exteriores. Um sistema de ventilação natural apoiado por sistema mecânico com sensores de temperatura interiores e exteriores, assim como por sensores de CO₂, poderia reduzir uma percentagem significativa de consumo de energia.

Parametrizações dos termóstatos (Setpoints) mais adequadas podem reduzir o consumo de energia nos edifícios. Portanto, devem ser feitos esforços para alcançar novos valores

de referência. As simulações mostram que pequenas mudanças têm retorno rápido, podendo as melhorias chegar a 50%.

No que respeita à iluminação, este estudo permite concluir que representa um aspecto de maior importância na economia de energia. Um sistema de iluminação mal projectado pode afectar muitas actividades, tornando-se necessário alterar as condições de iluminação em edifícios de serviços para obter melhores resultados em termos de economia de energia. A iluminação e a protecção solar devem ser controladas por sensores de nível de iluminância, o que resulta numa melhoria da eficiência energética e qualidade ambiental interior. O aproveitamento da luz natural em alguns espaços, pode substituir o uso de electricidade para iluminação, evitando uma grande despesa, devendo no entanto ser avaliado por forma a evitar possíveis reflexos e ganhos solares excessivos.

Deve salientar-se ainda o facto de a existência de controlo da iluminação ter influência directa nos consumos em climatização, devido à redução de temperatura resultante da menor utilização dos circuitos de iluminação. Assim, a redução dos consumos em iluminação resulta num aumento dos consumos em aquecimento e numa redução dos consumos em arrefecimento. Apesar de tudo, para o estudo de caso em questão, este fenómeno não resultou numa diferença significativa em termos de saldo líquido final, estabelecendo-se o mesmo num aumento de quase 1% nos consumos do edifício.

De um modo geral e, tomando como base os resultados obtidos no desenvolvimento desta dissertação, a implementação de um sistema de gestão técnica num edifício de serviços tem uma influência bastante significativa no que respeita à redução de consumos energéticos.

No que respeita ao sector dos equipamentos, pode concluir-se que esta é uma área com um potencial de poupança a explorar. O seu peso no consumo total do edifício estudo de caso é considerável em todas as simulações, sendo que no caso óptimo (Caso 4) é responsável por aproximadamente 26% do consumo total.

A implementação de algumas estratégias de controlo pode ter um retorno importante. Medidas como a gestão dos computadores pessoais, evitando que os mesmos fiquem ligados fora dos horários de expediente, podem ser de fácil implementação.

No entanto, uma solução global exige várias combinações e intervenções técnicas e económicas que proporcionem um cenário mais económico e sustentável. A sustentabilidade ambiental, a gestão dos recursos disponíveis, bem como a eficiência energética permitirão no futuro, estratégias para obtenção de valor económico e ambiental acrescido.

Relativamente a este tema poderá ser de interesse no futuro efectuar uma análise de rendibilidade económica e financeira que avalie os custos de implementação de um sistema de gestão técnica no edifício e os seus custos de manutenção.

Com base nessa análise e, com uma avaliação do potencial efectivo de poupança estudado nesta dissertação, poder-se-ia chegar a uma estimativa de tempo quanto ao retorno do investimento.

BIBLIOGRAFIA

ADENE. (2009). *Edifícios Existentes - Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética*. Lisboa: Adene - Agência para a Energia.

Alameddine, Z., Orehousing, K., & Mahdavi, A. (2010). *Simulation - based assessment of energy and environmental performance of office buildings in Lebanon*. BAUSIM 2010 (pp. 107-112). Vienna: Vienna University of Technology.

Almeida, C. (2010). *Integração de sistemas de gestão técnica e de gestão da manutenção*. Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Alves, A. (2011). *Simulação térmica multizona de um edifício escolar: uma comparação de programas no âmbito do RSECE*. Dissertação de mestrado da Universidade do Minho.

Alves e Mota. (2003). 1ª Edição. Casas Inteligentes. Centro Atlântico: Portugal.

Ascenso, R. (2010, Jan./Fev.). *Energia e edifícios - O futuro já chegou!* Climatização, pp. 6-13.

ASHRAE. (1993). *ASHRAE HANDBOOK - Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.

Barros, A. (2010). *Edifícios Inteligentes e a Domótica: Proposta de um Projecto de Automação Residencial utilizando o protocolo X-10*. Projecto final de curso da Universidade Jean Piaget de Cabo Verde.

Bertagnolio et al. (2010). *Simulation Based Assessment of Heat Pumping Potential in Non-Residential Buildings - Part 1: Modeling*. Clima 2010 (pp. R4-TS20-0P04). Turkey: REHVA. (ISBN: 978-975-6907-14-6).

Bolzani, C. (2004). *Desenvolvimento de simulador de controle de dispositivos residenciais inteligentes: uma introdução aos sistemas domóticos*. Tese de doutoramento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BPIE. (2011). *Europe's Buildings Under the Microscope - A country-by-country review of the energy performance of Buildings*. Antwerp: Mazout.

Brandão, F. (2012). *Eficiência e Gestão Energética dos Edifícios Municipais de Matosinhos*. Dissertação de mestrado do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Cabetas, A. (2007). *DTIE - 9.02 - Relação entre o Edifício e o Sistema de Climatização*. Lisboa: APIRAC.

CE. (2006). *Green Paper: A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy*. Brussels: European Commission.

CEN. (2002). *Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places. EN 12464-1 Standard*. Brussels: European Committee for Standardisation.

CEN. (2007a). *Energy performance of buildings - Impact of Buildings Automation, Controls and Building Management. EN 15232 Standard*. Brussels: European Committee for Standardisation.

CEN. (2007b). *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. EN 15251 Standard*. Brussels: European Committee for Standardisation.

CEN. (2008). *Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings. EN 15603 Standard*. Brussels: European Committee for Standardisation.

DesignBuilder. (2009). *Manual of DesignBuilder*. Retirado Janeiro 4, 2009, de DesignBuilder: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv2>.

Dias, M. (2011). *Indoor Environment and Energy Efficiency in Higher Schools*. Tese de doutoramento da Universidade de Salamanca.

Fabry et al. (2010). *Simulation Based Assessment of Heat Pumping Potential in Non-Residential Buildings - Part 3: Application to a typical office building in Belgium*. *Clima 2010* (pp. R4-TS20-0P06). Turkey: REHVA. (ISBN: 978-975-6907-14-6).

Ferreira, M. (1995). *Sistema Integrado para Casa Inteligentes*. Dissertação de mestrado do Instituto Superior Técnico.

Gonçalves, B. (2010). *Simulação Dinâmica do Comportamento Térmico do Sheraton Lisboa Hotel & SPA*. Dissertação de mestrado do Instituto Superior Técnico.

Gonçalves, H. et al. (2004). *Ambiente Construído, Clima Urbano, Utilização Racional de Energia nos Edifícios da Cidade de Lisboa*. Lisboa: INETI.

Gonçalves, H., & Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: Tipografia Peres.

Lauria, A. (2007). *Sustentabilidade na Construção*. Lisboa: Verlag Dashöfer.

Mafra, C. (2011). *Análise energética de edifício da Segurança Social em Lisboa*. Dissertação de mestrado do Instituto Superior Técnico.

Matutino, P. (2001). *Concepção e Desenvolvimento de uma Rede Domótica*. Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Miller, P. (2009). *Poupar Energia*. National Geographic – Portugal.

Ministério da Economia e da Inovação. (2006a). *Decreto-Lei n.º 78/2006, 4 de Abril - Diário da República n.º 67/2006 - I Série - A*. Lisboa: Imprensa Nacional - Casa da Moeda, S.A.

Ministério da Economia e da Inovação. (2006b). *Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril - Diário da República n.º 67/2006 - I Série - A*. Lisboa: Imprensa Nacional - Casa da Moeda.

Ministério da Economia e da Inovação. (2006c). *Decreto-Lei n.º 80/2006, 4 de Abril - Diário da República n.º 67/2006 - I Série*. Lisboa: Imprensa Nacional - Casa da Moeda.

Mumovic, D. and Santamouris, M. (2009). *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering. An integrated approach to energy, health and operational performance*. London: Earthscan.

Nunes J. (2009). *Configuração de Sistemas Domóticos*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Nunes, R. (1995). *Integração de Serviços para Edifícios Inteligentes*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Parlamento Europeu e do Conselho. (2002). *Directiva 2002/91/CE*. Jornal Oficial da União Europeia. L 1, 16/12/2002.

Parlamento Europeu e do Conselho. (2010). *Directiva 2010/31/UE*. Jornal Oficial da União Europeia. L 153, 19/05/2010.

Renováveis. (2005) *Edifício Solar XXI – Um Edifício energeticamente eficiente em Portugal*. Lisboa: INETI.

Roriz, L. et al. (2006). *Climatização. Concepção, Instalação e Condução de Sistemas*. Amadora: Edições Orion.

Sá, M. (2010). *Avaliação de um edifício escolar segundo o sistema LiderA*. Dissertação de mestrado da Universidade de Aveiro.

Santos, S. (2010). *Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia*. Dissertação de mestrado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Silva, P. (2006). *Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE*. Dissertação de mestrado da Universidade do Minho.

Tark & Raide (2010). *The influence of calculation zones for finding out annual net space heating and space cooling energies of office buildings by using dynamical simulation*. Clima 2010 (pp. R8-TS24-0P03). Turkey: REHVA. (ISBN: 978-975-6907-14-6).

Tavares, P. (2004). *Concepção de Edifícios Energeticamente Eficientes – Uma Contribuição Metodológica Baseada em Simulação Computacional*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Tirone & Nunes. (2007). *Construção Sustentável*. Sintra: Tirone Nunes, S.A. (ISBN: 978-989-20-0883-7).

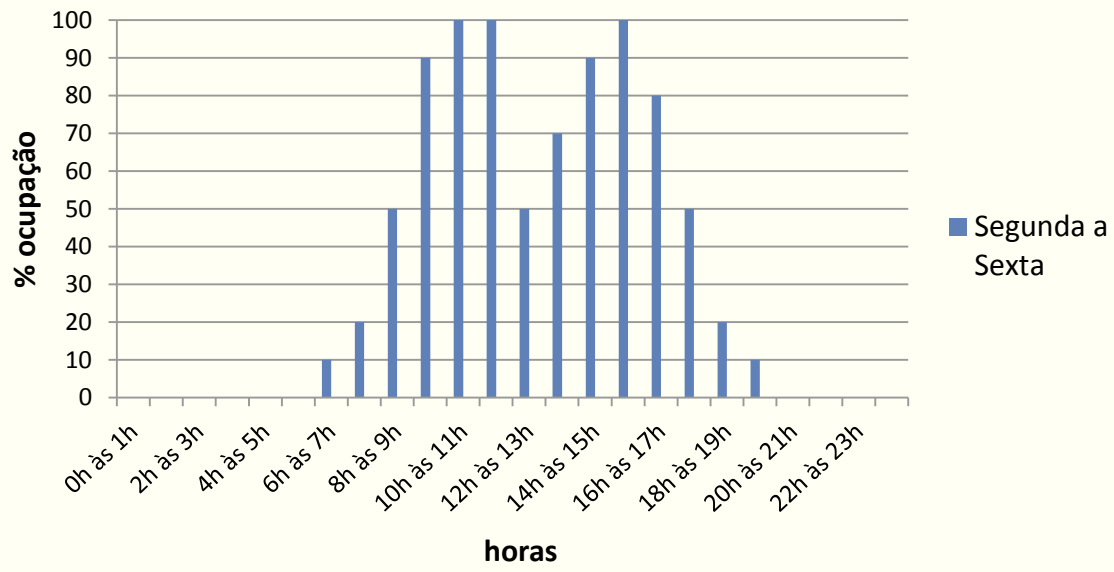
Virta et al. (2010). *Energy Efficient HVAC - System and Building Design*. Clima 2010 (pp. R5-TS29-0P05). Turkey: REHVA. (ISBN: 978-975-6907-14-6).

ANEXOS

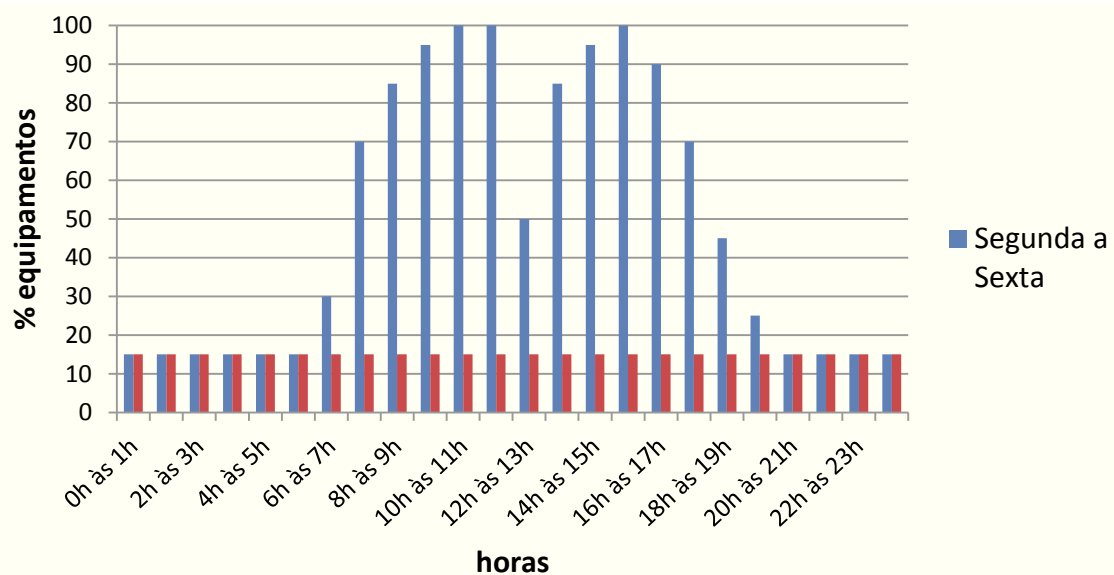
Resultados totais anuais para os diferentes casos de estudo

	Caso 1	Caso 2	Caso 3.a	Caso 3.b	Caso 4
Room Electricity (kWh)	23.239,79	23.239,79	23.239,79	23.239,79	23.239,79
Lighting (kWh)	73.769,69	29.719,08	73.769,69	73.769,69	29.719,08
System Misc (kWh)	2.311,08	2.311,08	2.311,08	2.311,08	2.311,08
Electricity (kWh)	166.042,02	123.147,43	160.442,92	132.115,13	89.207,88
Heat Generation (Electricity) (kWh)	39.721,06	44.736,38	37.224,72	20.410,05	24.005,29
Chiller (Electricity) (kWh)	27.000,39	23.141,10	23.897,64	12.384,52	9.932,64
Air Temperature (°C)	20,24	20,16	20,26	20,10	19,93
Radiant Temperature (°C)	20,63	20,50	20,64	20,52	20,32
Operative Temperature (°C)	20,43	20,33	20,45	20,31	20,12
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glazing (kWh)	-32.403,14	-27.441,40	-32.687,74	-31.206,98	-25.077,83
Walls (kWh)	-32.768,82	-31.641,30	-32.728,56	-30.839,77	-29.066,43
Ceilings (int) (kWh)	-10.649,13	-9.865,91	-10.830,15	-11.506,62	-10.539,44
Floors (int) (kWh)	10.596,41	9.815,83	10.781,46	11.476,81	10.513,14
Ground Floors (kWh)	-82.764,52	-81.113,00	-82.878,21	-81.434,38	-78.914,90
Partitions (int) (kWh)	-167,74	-152,43	-142,52	-22,86	-2,77
Roofs (kWh)	-43.951,70	-42.212,38	-43.946,63	-41.496,86	-38.823,61
Doors and vents (kWh)	-5.055,99	-4.750,80	-5.109,16	-5.045,87	-4.594,95
Floors (ext) (kWh)	-22.406,41	-21.988,68	-22.259,51	-21.155,11	-20.548,38
External Infiltration (kWh)	-138.821,34	-136.634,38	-139.023,27	-133.751,23	-129.100,05
External Vent. (kWh)	-30.887,31	-30.663,64	-31.070,29	-29.061,35	-27.576,63
General Lighting (kWh)	73.769,69	29.719,08	73.769,69	73.769,69	29.719,08
Catering Gains (kWh)	316,96	316,96	316,96	316,96	316,96
Computer + Equip (kWh)	22.922,83	22.922,83	22.922,83	22.922,83	22.922,83
Occupancy (kWh)	49.972,32	50.055,43	49.833,17	50.167,06	50.660,32
Solar Gains Interior Windows (kWh)	8.111,31	8.691,98	8.111,31	8.111,31	8.691,98
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	214.507,08	218.581,58	214.507,08	214.507,08	218.581,58
Zone/Sys Sensible Heating (kWh)	119.163,18	134.209,13	111.674,16	61.230,15	72.015,86
Zone/Sys Sensible Cooling (kWh)	-75.601,11	-64.795,09	-66.913,39	-34.676,65	-27.811,38
Relative Humidity (%)	57,68	58,13	57,60	57,78	58,53
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ac/h)	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89

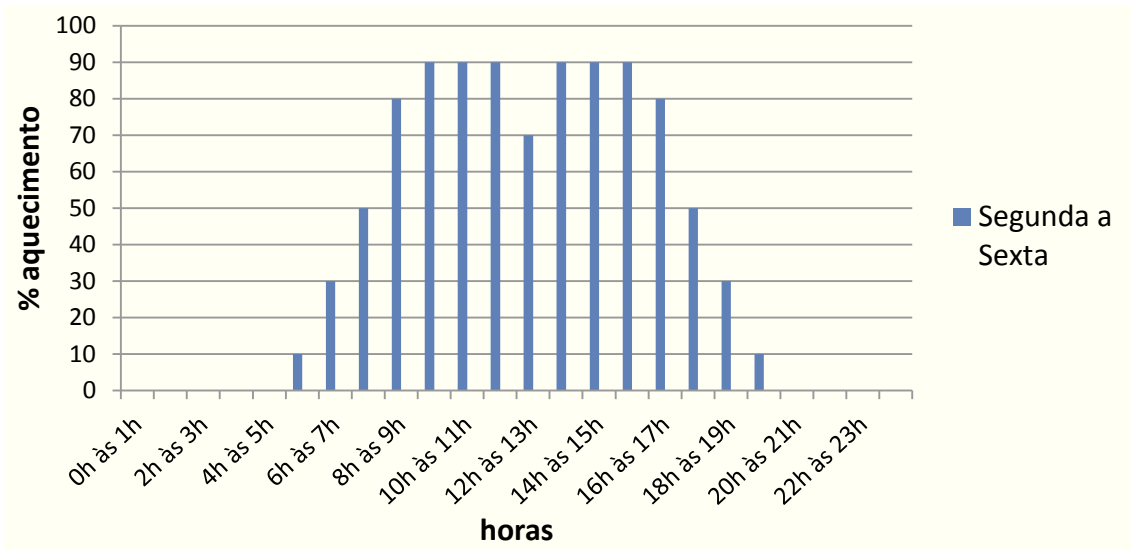
Horários de ocupação



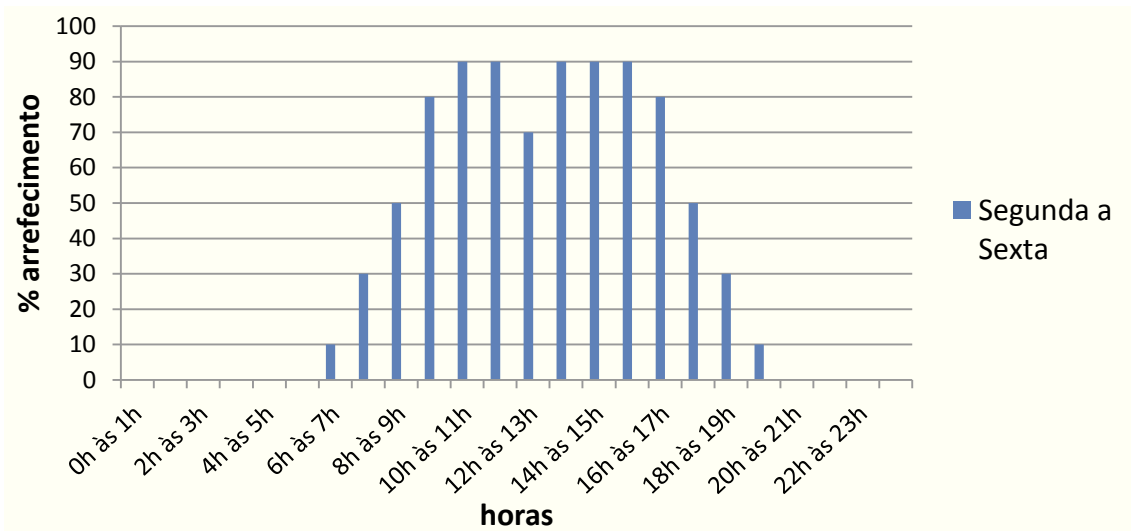
Horários de funcionamento dos equipamentos



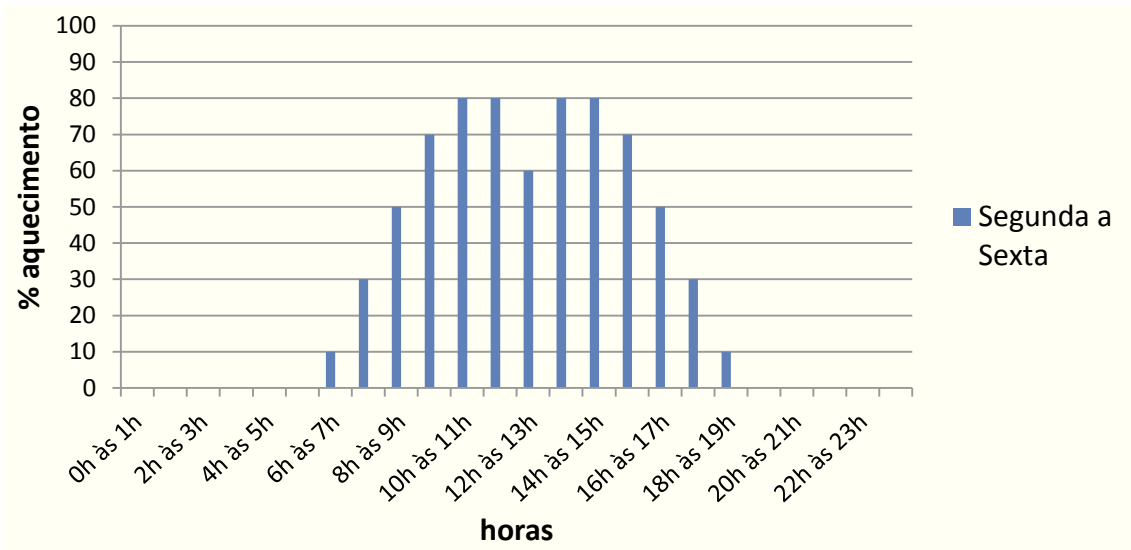
Horários de funcionamento da climatização no modo aquecimento (Casos 1 e 2)



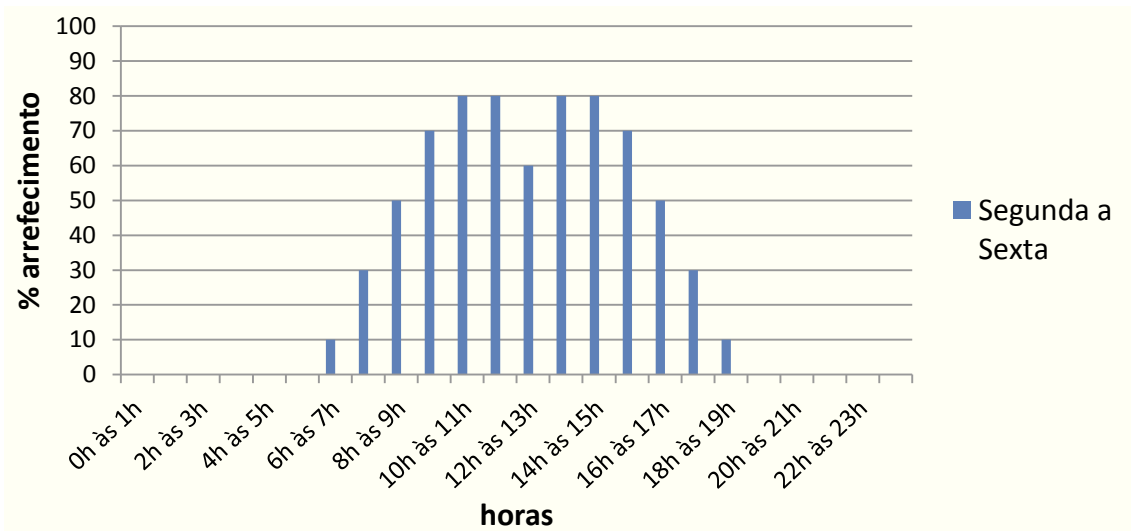
Horários de funcionamento da climatização no modo arrefecimento (Casos 1 e 2)



Horários de funcionamento da climatização no modo aquecimento (Casos 3 e 4)



Horários de funcionamento da climatização no modo arrefecimento (Casos 3 e 4)



Horários de funcionamento da iluminação

