



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação de um Sistema de Gestão de Energia no DEC

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade Tecnologia e Gestão do Ambiente

Autor

Edson Wanderley Furtado Tavares Silva

Orientador

José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro

Júri

Presidente

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge
Professor Assistente da Universidade de Coimbra

Vogais

Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, setembro, 2015

“A satisfação reside no esforço, não no resultado obtido. O esforço total é a
plena vitória”

Mahatma Gandhi

A minha família

AGRADECIMENTOS

Durante a realização deste trabalho foram várias as pessoas que de uma forma direta ou indireta contribuíram para que fosse possível o seu desenvolvimento. A essas pessoas quero deixar aqui uma mensagem de agradecimento.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor José Baranda Ribeiro pela orientação, disponibilidade, pelas sugestões pertinentes e, sobretudo, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da realização deste trabalho.

Ao Eng. Edmundo Pais pela ajuda e disponibilidade na recolha dos dados sobre o edifício. Ao Sr. Ricardo Oliveira pelo acompanhamento na recolha de dados nos contadores e disponibilidade demonstrada no fornecimento de informação sobre o edifício.

A minha família, principalmente à minha mãe e aos meus tios, pelo grande carinho e apoio incondicional durante todo esse percurso.

Aos meus amigos, com destaque para Filomeno Vieira e Fernando Soares pelo apoio, ajuda e sugestão importante transmitida ao longo deste trabalho.

A minha namorada pelo apoio emocional e por estar sempre presente durante essa etapa.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é contribuir para a implementação de um sistema de gestão da energia no DEC. Para alcançar esse objetivo foi necessário caracterizar o consumo energético atual, avaliar o desempenho energético do edifício, identificar as ineficiências e propor medidas ou alterações que conduzam ao aumento da eficiência energética no edifício.

Uma das principais observações retirada deste trabalho é que se torna essencial apostar no desenvolvimento e implementação de medidas de carácter comportamental, isso porque é um aspeto que pode representar uma grande poupança no edifício e na maioria das vezes não implica nenhum custo.

A implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) é indispensável para o DEC, visto que contribui significativamente para melhorar a performance energético do edifício, provocando uma redução considerável da fatura energética e dos impactos associados ao consumo de energia. Para o seu sucesso é indispensável o compromisso da gestão do topo.

Palavras-chave: Gestão de Energia no Edifício, Eficiência energética, Indicadores de Eficiência Energética.

ABSTRACT

The objective of this study is to contribute to the implementation of an energy management system in DEC. To achieve this goal it was necessary to characterize the current energy consumption, assess the energy performance of the building, identify inefficiencies and propose measures or changes that would increase energy efficiency in the building.

One of the main observations withdrawal of this work is that it is essential to invest in the development and implementation of behavioral character of measures, because this is an aspect which may represent a major saving in the building and most of the time does not imply any cost.

Implementing an Energy Management System (SGE) is indispensable for the DEC, as it contributes significantly to improve the energy performance of the building, causing a considerable reduction of the energy bill and the impacts associated with energy consumption. To your success it is essential to top management commitment.

Keywords Energy Management in Building, Energy Efficient, Energy Efficiency Indicators.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
SIGLAS	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.1.1. Situação Energética na Europa	2
1.1.2. Situação Energética em Portugal	3
1.1.3. Energia e Edifícios	5
1.2. Objetivo	8
1.3. Estrutura da Dissertação	8
2. SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA	11
3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO	15
3.1. Levantamento de Sistema de Iluminação	15
3.2. Lista de Equipamentos	17
3.3. Sistema AVAC	18
3.3.1. Aquecimento	18
3.3.2. Climatização	20
3.3.3. Ventilação	21
4. RESULTADOS	23
4.1. Historial dos Consumos de Energias	23
4.2. Caracterização do consumo no Ano 2014	24
4.2.1. Consumo de Eletricidade no Ano 2014	29
4.3. Indicadores de Eficiência Energética	31
5. PROPOSTAS DE MELHORIAS	35
5.1. Iluminação	35
5.1.1. Substituição de Lâmpadas Fluorescente Tubular T8 por T5	35
5.1.2. Instalação de LEDs nos Anfiteatros	37
5.1.3. Instalação de Sistemas de Controlo Automático	38
5.1.4. Medidas Complementares para o Sistema de Iluminação	39
5.2. Medidas para o Sistema de AVAC	39
5.3. Equipamentos	41
5.4. Aspectos Comportamentais	41
5.5. Implementação de um Sistema Fotovoltaico	43
5.6. Outras Propostas de Melhorias	45
6. CONCLUSÃO	47
6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	51

Anexo I. Sistema de iluminação.....	51
Anexo II. Sistema Fotovoltaico.....	51
APÊNDICES.....	53
Apêndice I. Descrição do edifício.....	53
Apêndice II. Outros Resultados.....	53
Apêndice III. Benchmarking.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Evolução e distribuição do consumo mundial de energia (BP, 2014).	1
Figura 1.2. Percentagem da distribuição mundial do consumo de energia (adaptado de (BP, 2014)).	2
Figura 1.3. Dependência Energética da União Europeia.	3
Figura 1.4. Dependência energética de Portugal (DGEG, 2014).	4
Figura 1.5. Produção anual de energia elétrica com base em FER (DGEG,2014).....	4
Figura 1.6. Consumo Energético por Sector em Portugal (DGEG, 2011).	5
Figura 1.7. Gráfico com a distribuição dos consumos de eletricidade dos edifícios de serviços em Portugal (DGE,1994).....	6
Figura 1.8. Rácio do consumo de eletricidade por área de vária Instituição de Ensino Superior (Bonnet et al, 2003).	7
Figura 2.1. Requisitos mínimos para implementação de SGE (AIDA, 2014).....	12
Figura 3.1. Imagem do DEC (Google Earth, 2015).....	15
Figura 3.2. Sistema de iluminação existente no DEC (a) zonas de circulação, (b) escadas, (c) salas de aulas.	16
Figura 3.3. Imagem das caldeiras.	19
Figura 3.4. Imagem das eletrobombas.	19
Figura 3.5. Imagem das chillers.....	20
Figura 4.1. Consumo energético nos últimos anos.	23
Figura 4.2. Evolução do consumo mensal de energia eléctrica nos últimos anos.	24
Figura 4.3. Consumo energético em 2014.	25
Figura 4.4. Variação de consumo energético ao longo do ano 2014.	25
Figura 4.5. Variação de custo energético ao longo do ano 2014.	26
Figura 4.6. Desegregação do consumo de energia por utilização final.	27
Figura 4.7. Consumo energético vs N° de aulas: (a) dezembro 2014, (b) março 2015, (c) outubro 2014 e (d) junho 2015.	28
Figura 4.8. Consumo energético vs Temperatura média: (a) dezembro 2014, (b) março 2015, (c) outubro 2014 e (d) junho 2015.....	29
Figura 4.9. Desegregação do consumo de eletricidade em diferentes áreas.....	30
Figura 4.10. Média de consumo diário em diferentes períodos do ano.	31

Figura 4.11. Comparação de consumo de energia eléctrica por área útil entre os edifícios do polo 2, em 2013.....	33
Figura 4.12. Consumo de energia eléctrica por aluno inscrito em 2013.....	33
Figura 5.1. Lâmpadas T5 e T8	36
Figura 5.2. Exemplo de flyers.....	42
Figura 5.3. Exemplo de flyers.....	43
Figura 5.4. Espaços para instalações dos painéis.....	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Metodologia PDCA.....	12
Tabela 3.1. Dados climáticos da Região.	15
Tabela 3.2. Sistema de iluminação existente no edifício.....	16
Tabela 3.3. Lista de equipamentos na oficina.	17
Tabela 3.4. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório de geotecnia.....	17
Tabela 3.5. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório de estruturas.....	18
Tabela 3.6. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório da hidráulica.	18
Tabela 3.7. Características das caldeiras	19
Tabela 4.1. Consumo em períodos não úteis e período útil.....	30
Tabela 4.2. Indicadores energético de 2014.	32
Tabela 4.3. Indicadores económicos de 2014.....	32
Tabela 5.1. Características das lâmpadas T8 e T5.....	36
Tabela 5.2. Poupança por lâmpada resultante da substituição de T8 por T5.	37
Tabela 5.3. Poupança resultante da substituição de T8 por T5.	37
Tabela 5.4. Período de retorno de substituição de T8 por T5.	37
Tabela 5.5. Poupança resultante da substituição de lâmpadas incandescente por lâmpadas LEDs.....	38
Tabela 5.6 Período de retorno de Instalação de LEDs nos Anfiteatros	38
Tabela 5.7. Cálculos de implementação de um sistema fotovoltaico.....	44
Tabela 5.8. Cálculo de período de retorno de implementação de um sistema fotovoltaico.....	45

SIGLAS

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Conselho Europeu

COP – Coeficient of performance

DEC – Departamento de Engenharia Mecânica

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia

EER – Energy Efficiency Ratio

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FER – Fontes de Energia Renovável

GEE – Gases com Efeito de Estufa

PDCA – Plan-Do-Check-Act

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SGE – Sistema de Gestão de Energia

SGT – Sistema de Gestão Técnica

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O desenvolvimento económico prevaemente nas últimas décadas, caracterizou-se pela utilização intensa de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil. O elevado consumo de energia a partir dessa origem, é hoje apresentado como a principal causa de aumento de concentração de dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo assim para o aquecimento global do planeta.

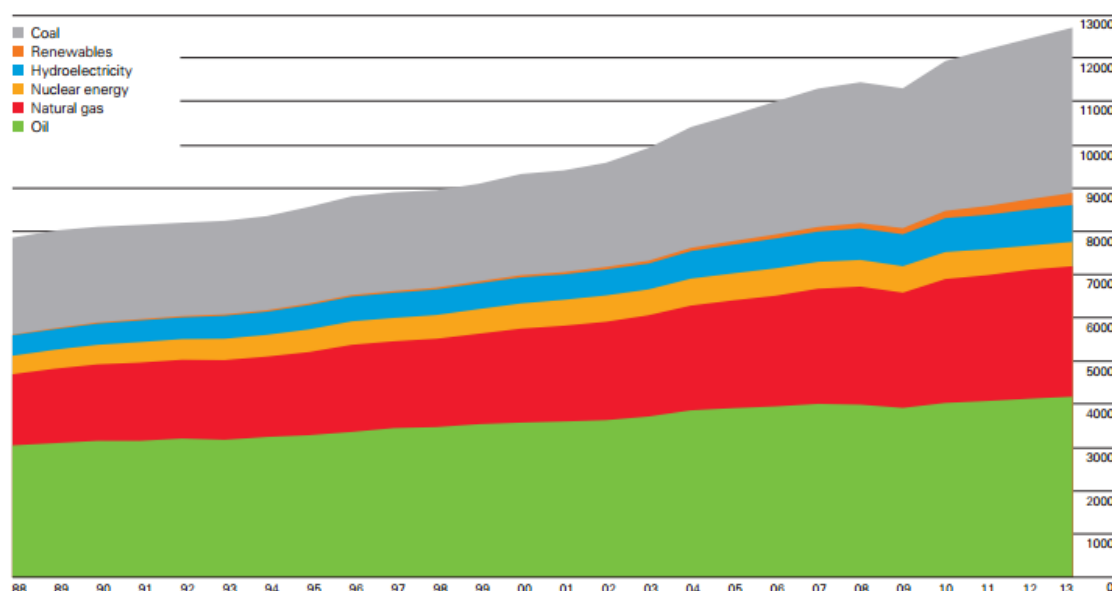


Figura 1.1. Evolução e distribuição do consumo mundial de energia (BP, 2014).

Para mitigar os efeitos nocivos causados pela utilização excessiva de recurso fósseis na produção da energia, em dezembro de 1997 foi estabelecido um protocolo internacional entre 100 países onde foram definidas metas para a redução das emissões de CO₂. Este acordo internacional, Protocolo de Quioto, fixou um compromisso para a redução do CO₂ eq em pelo menos 5% de 2008-2012, face as emissões de 1990. Contudo, como pode-se verificar na Figura 1.1 a matriz energética mundial continuou extremamente dependente da queima de combustíveis fósseis, frustrando assim as pretensões deste protocolo.

Em 2013 o consumo mundial de energia atingiu o valor de 12,7 mil milhões de toneladas equivalentes de petróleo, sendo 87% do consumo global proveniente de combustíveis fósseis, 9% das energias renováveis e 4 % da energia nuclear, Figura 1.2.

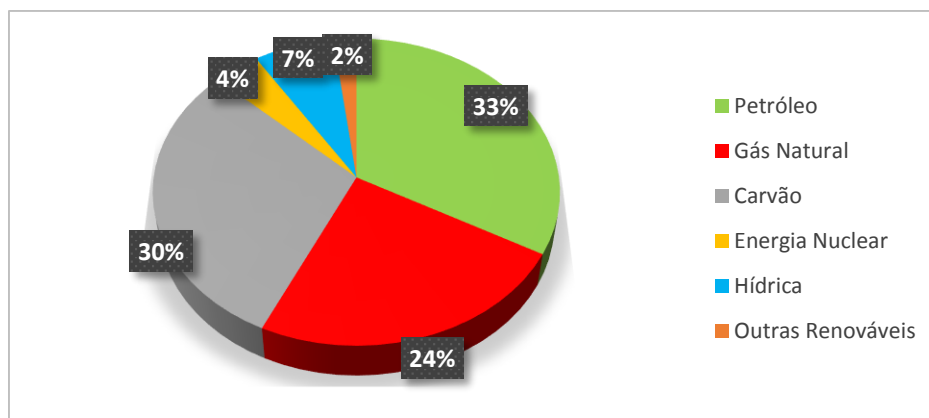


Figura 1.2. Percentagem da distribuição mundial do consumo de energia (adaptado de (BP, 2014)).

Após a análise dos dados anteriormente apresentados, conclui-se que é essencial procurar novos caminhos com intuito de reduzir os impactos negativos decorrente da produção da energia com base em energia fósseis. O desafio é enorme e a solução até então conhecida passa pela procura de fontes alternativas de energia, com ênfase especial para as renováveis, e pela gestão eficiente das energias disponíveis.

1.1.1. Situação Energética na Europa

A Europa é um continente desprovido de recursos energéticos próprios, sobretudo, aqueles que asseguram a maioria das necessidades energéticas dos países europeus, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior.

Como pode-se verificar na Figura 1.3 a dependência energética da Europa atualmente é superior a 50%, isto é, mais de 50 % da energia consumida na Europa provem do exterior. Este facto deve-se principalmente a dependência da matriz energética europeia da queima de combustíveis fósseis.

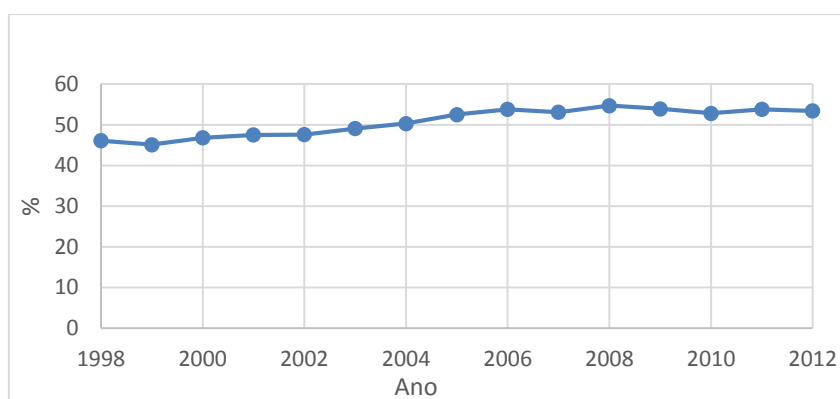


Figura 1.3. Dependência Energética da União Europeia.

Perante essas situações, em 2007 o Conselho Europeu (CE) adotou objetivos para 2020 em matéria de energia e alterações climáticas, nomeadamente uma redução de 20% nas emissões de Gases de efeito de Estufa (GEE), o aumento da quota de energias renováveis para 20% e uma melhoria de 20% na eficiência energética.

1.1.2. Situação Energética em Portugal

Portugal é um país pobre em combustíveis fósseis, O mais preocupante é que grande parte da energia consumida tem por base esses recursos, o que leva a uma elevada dependência energética do exterior.

A dependência energética de 1998 a 2010 foi sempre superior a 80%, atingindo o pico em 2005, com valores na ordem dos 89%. A partir de 2010 pela primeira vez Portugal reduziu a sua dependência energética abaixo dos 80%, tendo atingindo a valor mais baixo em 2013, Figura 1.4. Essa grande redução verificada em 2013 deve-se principalmente à redução do consumo de carvão e gás natural na produção de energia elétrica, uma vez que a produção doméstica¹ subiu 21%(APA, 2014).

¹ Produção de energia elétrica em Portugal

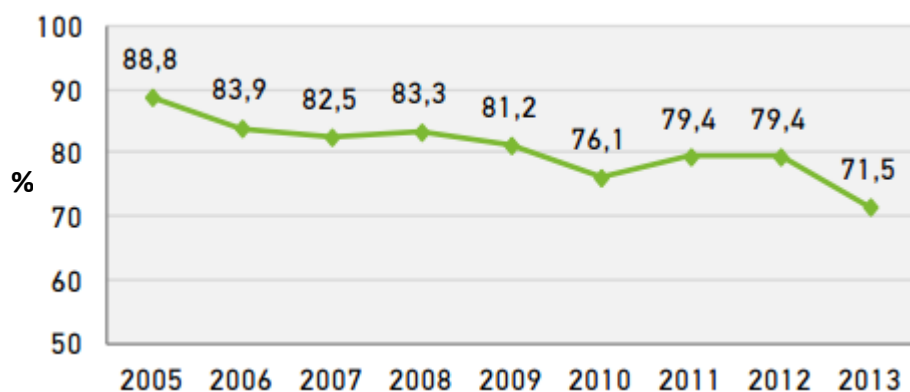


Figura 1.4. Dependência energética de Portugal (DGEG, 2014).

A produção doméstica tem aumentado nos últimos anos, como é possível constatar na Figura 1.5, isso deve-se sobretudo ao aumento da energia elétrica produzida com base em Fontes de Energia Renovável (FER). Mesmo com esses aumentos as importações de energia ainda representam um valor quatro vezes superior ao da produção doméstica.

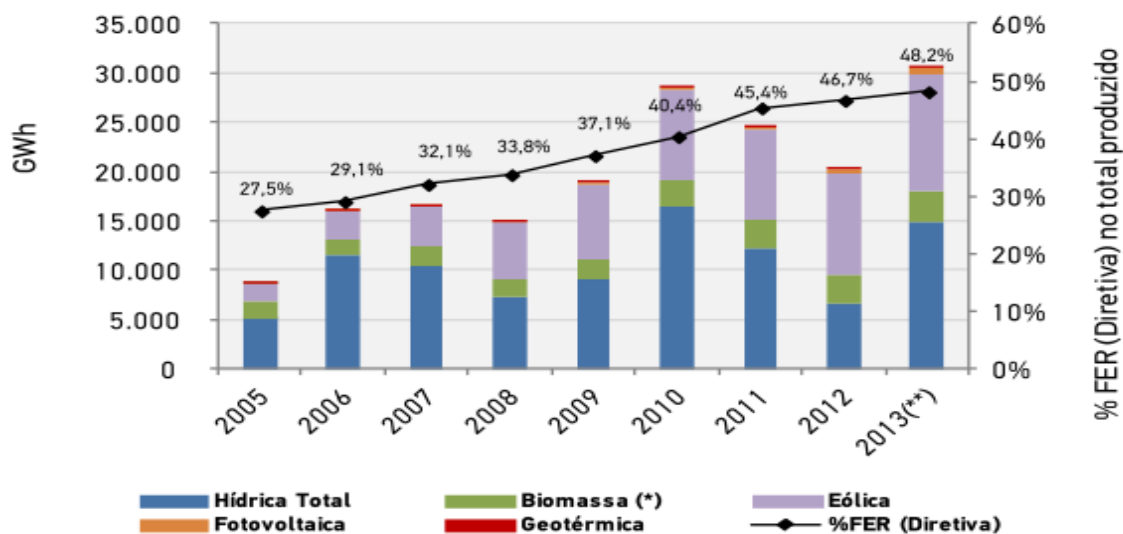


Figura 1.5. Produção anual de energia elétrica com base em FER (DGEG, 2014).

Analisando a produção da energia elétrica por fonte renovável no ano 2013, constatou-se que a componente hídrica foi responsável por cerca da metade da energia elétrica produzida (48%), seguindo-se a produção eólica (39%), a biomassa (10%), a fotovoltaica (2%) e por último geotérmica (1%) (APA, 2014).

1.1.3. Energia e Edifícios

O setor dos edifícios na Europa é responsável por cerca de 40% do consumo da energia. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através das medidas da eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto (ADENE, 2015).

Em Portugal os edifícios são responsáveis por cerca de 29% do consumo total da energia primária do país e 62% no que respeita ao consumo de eletricidade, Figura 1.6.

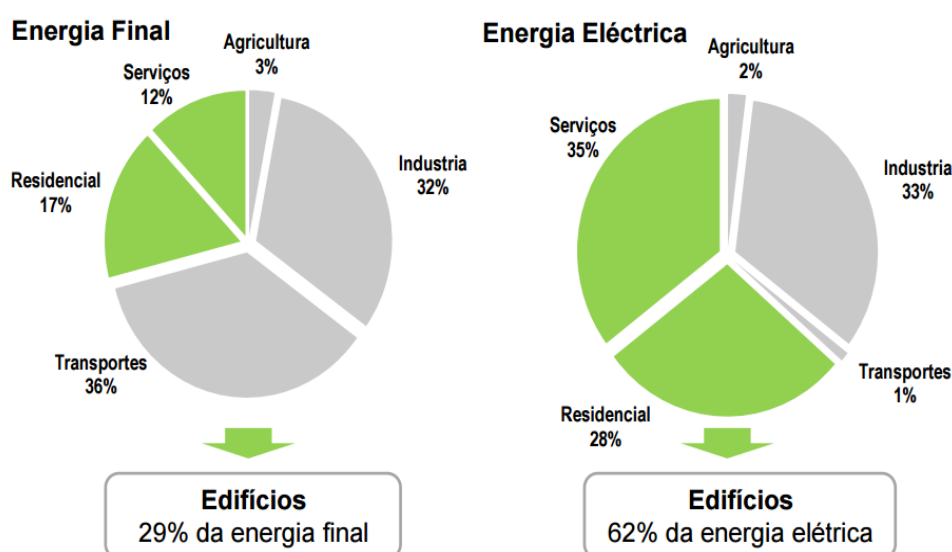


Figura 1.6. Consumo Energético por Sector em Portugal (DGEG, 2011).

Os edifícios de serviços representam 35 % do consumo total de energia eléctrica em Portugal, O consumo excessivo verificado nos edifícios de serviços tem por base a falta de um sistema de gestão de energia e comportamento ineficiente dos seus utilizadores. Deste modo é de extrema importância a implementação de um conjunto de medidas, técnicas e comportamentais, com finalidade de aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo nesse sector.

1.1.3.1. Consumo de Energia em Edifícios de Serviço

Existe uma grande heterogeneidade no sector dos serviços, que vai desde pequenas lojas até a grandes hotéis ou grandes centros comerciais. Entre os edifícios de serviço, os restaurantes apresentam o maior consumo específico com valores na ordem de

800kWh/(m²*ano), seguido por piscinas com consumo de 480kWh/(m²*ano), e os supermercados com valores perto de 320kWh/(m²*ano).

A Figura 1.7 ilustra o consumo específico da eletricidade por área nos edifícios de serviço em Portugal.

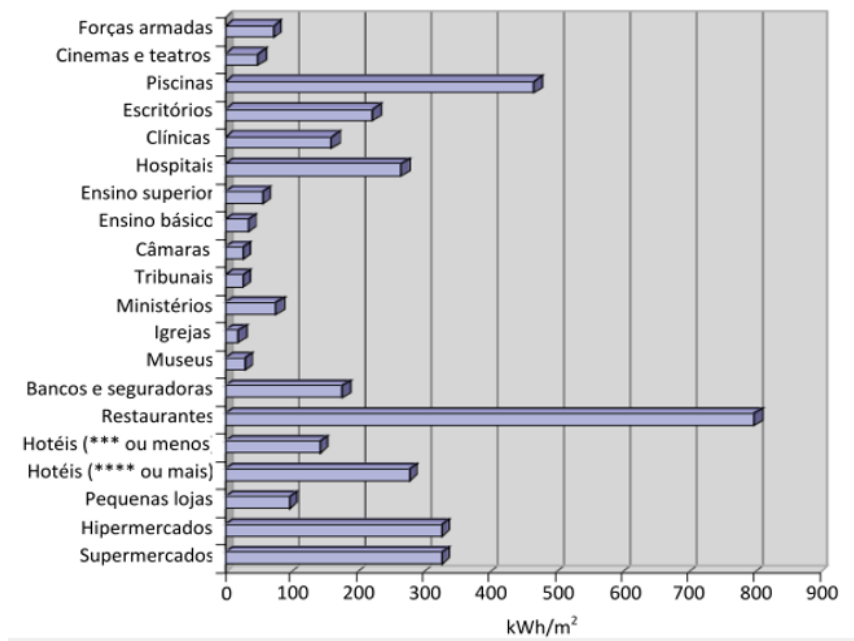


Figura 1.7. Gráfico com a distribuição dos consumos de eletricidade dos edifícios de serviços em Portugal (DGE,1994).²

1.1.3.2. Edifícios do Ensino Superior

O consumo da energia elétrica nas várias instituições de Ensino Superior é muito variável, este facto deve-se a vários fatores como, o clima da região, a qualidade do isolamento térmico do edifício, as atividades desenvolvidas, o comportamento dos utilizadores, os requisitos da qualidade do ambiente interior, os tipos de sistemas instalados no edifício, entre outros fatores.

A Figura 1.8 apresenta o consumo da energia elétrica por área, em várias instituições de ensino localizado na Europa, onde é possível verificar que as instituições portuguesa têm um consumo que varia entre 40 kWh/(m²*ano) e 80 kWh/(m²*ano).

²Na ausência de dados mais recentes sobre o consumo da energia elétrica dos edifícios de serviços, foram utilizados esses dados por forma a ter uma ideia do consumo no referido setor



Figura 1.8. Rácio do consumo de eletricidade por área de vária Instituição de Ensino Superior (Bonnet et al, 2003).

Perante o consumo elevado existente no sector dos edifícios, os Estados-Europeus têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a promover melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. Neste contexto surge a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

A Diretiva nº 2002/91/CE foi transposta em 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei:

- O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), que tem por objetivos, Certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior nos edifícios, assegurar as exigências impostas pelo RCCTE e do RSECE e identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis

aos edifícios e respetivos sistemas energéticos (Dec-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, 2006);

- O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), tem como principal objetivo, assegurar a eficiência energética dos edifícios de serviços impondo limites máximos ao consumo de energia em todo o edifício, obriga a existir valores mínimos de renovação do ar e estabelece limites para a concentração de algumas substâncias poluentes (Dec-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, 2006);
- O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), tem como objetivo: Salvar a satisfação das condições de conforto térmico dos edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão (Dec-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, 2006).

1.2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é contribuir para a implementação de um sistema de gestão da energia no DEC. Para alcançar esse objetivo foi necessário caracterizar o consumo atual, avaliar o desempenho energético atual, identificar as ineficiências e propor medidas ou alterações que conduzam ao aumento da eficiência energética, contribuindo assim para a diminuição do consumo/custo energético e dos impactos negativos associados ao consumo da energia.

1.3. Estrutura da Dissertação

O Capítulo 1 é de natureza introdutória, dedicado ao enquadramento do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a metodologia, os requisitos e as vantagens de implementação de um sistema de gestão de energia.

No Capítulo 3 é feita a descrição do caso de estudo, apresentando os sistemas de iluminação e AVAC existente, bem como a lista dos equipamentos instalados nos laboratórios.

O Capítulo 4 é dedicado a caracterização do consumo energético do edifício e a cálculos de indicadores energéticos para o edifício.

No Capítulo 5 apresenta-se propostas para a racionalização do consumo de energia no edifício.

O Capítulo 6 é dedicado às principais conclusões do trabalho desenvolvido, sendo ainda apresentadas algumas sugestões para o trabalho futuro.

2. SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

Sistema de Gestão de Energia (SGE) é uma abordagem sistemática e estruturada que tem por finalidade a otimização do uso de energia, ou seja o aumento da eficiência energética.

Um SGE aplicado segundo a Norma ISO 50001 destina-se a todo o tipo de organizações que pretendam posicionar-se na vanguarda na gestão da energia, aplicando-se quer na indústria como nos serviços e em todas as regiões do mundo.

A versão portuguesa da norma é a NP EN ISO 50001:2012, esta norma define um sistema de gestão de energia como um conjunto de elementos interrelacionados que permitem estabelecer uma política e objetivos energéticos, assim como os processos para alcançar esses objetivos. Dois anos após a publicação da Norma ISO 50001 verificava-se uma grande aceitação. A manter-se esta tendência, isto significa que se irá generalizar cada vez mais, a nível mundial, uma abordagem sistemática da gestão de energia nas organizações, sendo este um sinal muito positivo no que respeita à melhoria do desempenho energético daí decorrente, assim como à diminuição da intensidade carbónica das organizações, dois dos principais objetivos da norma (AIDA, 2014).

A Norma ISO 50001 é baseada na metodologia conhecida como “*Plan-Do-Check-Act*” (PDCA), com objetivo assegurar a melhoria contínua do sistema de gestão de energia. A metodologia esta descrita na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Metodologia PDCA.

Fase	Objetivos
Plan Planear	Realizar a avaliação energética e estabelecer a linha de base; Calcular os Indicadores de desempenho energético (IDE); Estabelecer objetivos, metas e planos de com vista melhorar o desempenho energético de acordo com a política de energia da organização.
Do Executar	Implementar os planos de ação de gestão de energia, incluindo procedimentos e processos, com o objetivo de melhorar o desempenho energético
Check Verificar	Monitorizar e medir os processos e produtos, as características chave das operações que determinam o desempenho energético face à política energética e aos objetivos, e relatar os resultados
Act Atuar	Empreender ações que visem melhorar continuamente o desempenho do SGE face aos resultados atingidos

A Norma ISSO 50001 define requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um Sistema de Gestão de Energia. Esses requisitos estão ilustrada na Figura 2.1.

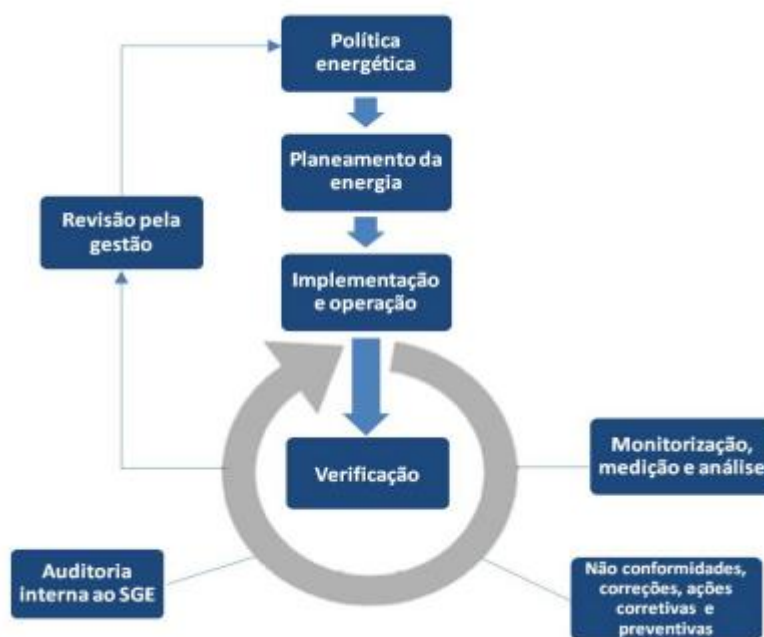


Figura 2.1. Requisitos mínimos para implementação de SGE (AIDA, 2014).

Para garantir o sucesso da implementação do sistema de gestão de energia, é indispensável contar com o compromisso da gestão de topo, este define um responsável pela gestão de energia que por sua vez cria uma equipa e define os papéis e responsabilidades. Depois de definido um responsável pela gestão de energia e criada uma equipa, define-se a política energética da organização.

A política energética deve cumprir todos os requisitos da ISO 50001 e no seu desenvolvimento é imprescindível que toda a organização esteja comprometidas com as tarefas que assume no SGE.

Após o compromisso da gestão de topo, segue-se à planificação energética, essa deve ser um documento de acordo com a política energética da organização e deve conduzir a melhoria contínua do desempenho energético da mesma. Nessa etapa realizam-se as seguintes tarefas:

- Avaliação energética à organização;
- Enquadramento da ISO 50001 face ao SGCIE e ao SCE;
- Determinação dos usos significativos de energia;
- Identificar, priorizar e registar oportunidades de melhoria;
- Definir o consumo energético de referência;
- Definir os indicadores de desempenho energético;
- Definir os objetivos, metas e planos de ação para a gestão da energia.

Com base nos resultados obtidos da planificação energética definem-se atividades de monitorização, medição, avaliação da conformidade, não conformidades, ações corretivas/preventivas, e auditoria interna ao sistema.

Por último a revisão pela gestão de topo para assegurar a eficácia e garantir melhoria contínua do SGE. Essas revisões devem ocorrer periodicamente.

A implementação de um Sistema de Gestão de Energia apresenta várias vantagens que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Permitir caracterizar o consumo energético;
- Ajudar na avaliação das instalações priorizando a implementação de novas tecnologias energeticamente eficiente;

- Reduzir significativamente o consumo de energia no edifício, consequentemente o custo com a energia;
- Promover melhoria contínua no desempenho energético do edifício;
- Melhoria/diferenciação da imagem da empresa nos mercados;
- Contribuição para desacelerar o empobrecimento dos recursos energéticos;
- Contribuição para a diminuição dos impactos ambientais associados à produção de energia (poluição / consumo de recursos naturais).

3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício alvo de estudo é o Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade de Coimbra, localizado no Pólo II. O DEC é um estabelecimento de ensino e investigação com uma área total de 20662 m², composto por cinco pisos.



Figura 3.1. Imagem do DEC (Google Earth, 2015).

Tabela 3.1. Dados climáticos da Região.

Cidade	Coimbra
Zona climática de inverno	I1
Nº graus dias	1460
Duração da estação de aquecimento	6 Meses
Zona climática de verão	V2
Temperatura externa do projeto	33°C
Amplitude térmica	13°C

3.1. Levantamento de Sistema de Iluminação

Os tipos de lâmpadas utilizadas no edifício são apresentadas na Tabela 3.2, bem como os números totais e os espaços onde estão instaladas.

Tabela 3.2. Sistema de iluminação existente no edifício.

Tipos de lâmpadas	Potência (W)	Nº de lâmpadas	Espaços
Lâmpadas fluorescentes tubulares	58	987	Salas de aulas, Gabinetes, Biblioteca, Secretaria, Reprografia,
	36	557	Gabinetes, Biblioteca
Lâmpadas fluorescentes compactas	18	597	Zonas de circulação, Biblioteca,
	9	76	Instalação Sanitária, Escadas
Lâmpadas de Vapor de mercúrio de alta pressão	250	94	Laboratórios
Lâmpadas incandescentes	120	126	Anfiteatros

Com análise da Tabela 3.2 verifica-se que grande parte da iluminação interior do edifício é assegurada por lâmpadas fluorescentes tubulares, representando um total de 63% de números totais de lâmpadas instaladas no edifício. Em segundo lugar está as lâmpadas fluorescentes compactas, seguido das lâmpadas incandescente e por fim as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão que são utilizados nos laboratórios. As imagens estão representadas na Figura 3.2.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.2. Sistema de iluminação existente no DEC (a) zonas de circulação, (b) escadas, (c) salas de aulas.

É importante salientar que no edifício em estudo o sistema de iluminação não apresenta nenhum tipo de sistema de controlo automático, como sensores de presença, células fotoelétricas ou relógios programáveis. Outro fator importante é que todas as lâmpadas de descarga existente no edifício utilizam balastro convencional, o que provoca um acréscimo de aproximadamente 25% no consumo (lâmpada + balastro). Com essas informações conclui-se que o sistema de iluminação do edifício é pouco eficiente, apresentando varias oportunidades de melhorias.

3.2. Lista de Equipamentos

Neste sector incluem-se todos os equipamentos existentes que não pertencem ao sistema de climatização. A maior parte do consumo verificado nesse sector está associada a equipamentos laboratoriais. Deste modo apresenta-se os principais equipamentos existentes nos laboratórios do DEC e na oficina, Tabela 3.3 à Tabela 3.6.

Tabela 3.3. Lista de equipamentos na oficina.

Oficina	
Serra 1	1,5kW
Furador de coluna	1,6kW
Fresadora	3,67kW
Serra 2	1,5kW
Estação de soldar	14kW
Serrote mecânico	1,84kW

Tabela 3.4. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório de geotecnia.

Geotecnia	
Compressor de ar	15kW
Compressor	2,64kW
Secador de ar	390W
Prensa hidráulica	7kW
Estufa	2,8kW

Tabela 3.5. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório de estruturas.

Estruturas	
Câmara climática	140kW/fase
Fornos (módulos horizontais e verticais)	8*90kVA+2*450kVA
Grupo hidráulico 100t	66KW
Grupo hidráulico 60t	23kW
Grupo hidráulico 20t	0,75kW
Compressor	18,5kW
Compressor (2 motores)	(2,2+2,2)Kw
Serra elétrica	4,1kW
Serra elétrica	4,0kW
Betoneira	3,67kW

Tabela 3.6. Lista dos principais equipamentos existente no laboratório da hidráulica.

Hidráulica	
Ponte rolante	
Bomba hidráulica (4 iguais)	4*22kW

3.3. Sistema AVAC

3.3.1. Aquecimento

O sistema de aquecimento é centralizado, constituído por três caldeiras a gás e oito eletrobombas, onde é aproveitado a energia proveniente da combustão do gás natural para a produção de calor, que é transferido para um fluido, nesse caso água, depois é transportado até locais onde se pretende efetuar o aquecimento. Existem sensores de temperatura situados no fim de linha de todos os blocos do edifício, que têm a função de enviar informação ao sistema da temperatura atual nesses locais. Consoante a informação recolhida pelos sensores de temperatura, caso seja verificado que em determinado local existe um valor abaixo de um que foi previamente definido (23°C), a válvula de três vias fechará o by-pass de forma a aumentar o caudal de água quente nos respetivos radiadores. Caso contrário, a válvula de três vias abrirá o by-pass para diminuir o caudal de água quente nos radiadores (Gonçalves, 2014).

Na Figura 3.3 é apresentada a imagem das caldeiras que estão instalado no piso zero do edifício, As suas características estão representado na Tabela 3.7 e por último estão ilustrada na Figura 3.4 imagem das eletrobombas.



Figura 3.3. Imagem das caldeiras.

Tabela 3.7. Características das caldeiras

Características das caldeiras	
Marca	Sime
Modelo	RS 11
Potência da caldeira (kW)	215.2



Figura 3.4. Imagem das eletrobombas.

3.3.2. Climatização

A climatização é destinada aos auditórios e à biblioteca, fazem parte deste sistema cinco *Chillers*³, estando em cada uma delas presente um ventilador de extração no caso dos auditórios, e um ventilador para os dois *chillers* da biblioteca. Também estão equipados com humidificadores que tratam o ambiente da mesma, sendo a insuflação e retorno de ar feita através das condutas tanto para os auditórios como para a biblioteca. Foi verificado que os humidificadores nunca atuaram.

A climatização é feita através de um controlo horário no Sistema de Gestão Técnica (SGT) e por um valor de temperatura e humidade (no caso da biblioteca) que podem ser manipuladas no supervisor, tanto para o arrefecimento como para o aquecimento, para que o sistema comece a atuar. Assim foram colocadas sondas de temperatura e humidade na biblioteca e sondas de temperatura nos auditórios, enviando essas um sinal entre 0V e 10V ao sistema, transformando-o seguidamente num valor de temperatura e humidade. Posteriormente, o sistema responde de forma idêntica à verificada na gestão do aquecimento. Em modo de arrefecimento, se o valor obtido for superior ao introduzido no sistema, verificasse que os *chillers* irão começar a atuar através do seu compressor. Já em modo de aquecimento, entrarão em funcionamento se o valor adquirido for inferior ao parametrizado no supervisor. Os *chillers* localiza-se na cobertura do edifício como é ilustrada na Figura 3.5 (Gonçalves, 2014).



Figura 3.5. Imagem das chillers.

³ é Uma máquina que retira calor a partir de um líquido através de um ciclo de compressão de vapor ou de refrigeração por absorção. É usado para a climatização, controle de umidade relativa, renovação do ar etc.

Para além da climatização nos auditórios e na biblioteca foram adicionadas unidades individuais de climatização do tipo *split*⁴ nos gabinetes, nas salas de aulas, salas administrativas e na sala 24h que pode ser usado tanto para o aquecimento como para o arrefecimento.

3.3.3. Ventilação

O sistema de ventilação instalado no DEC é constituído por 22 ventiladores de extração instalados por todo edifício.

⁴ são equipamentos de ar condicionado, divididos em dois módulos, denominados unidade interna (evaporadora) e unidade externa (condensadora).

4. RESULTADOS

4.1. Historial dos Consumos de Energias

No edifício em estudo é utilizado duas fontes de energia, a energia elétrica e o gás natural. A eletricidade é utilizada na iluminação, climatização e nos equipamentos enquanto o gás natural é utilizado apenas no aquecimento.

A Figura 4.1 ilustra o historial do consumo energético do edifício nos últimos anos.

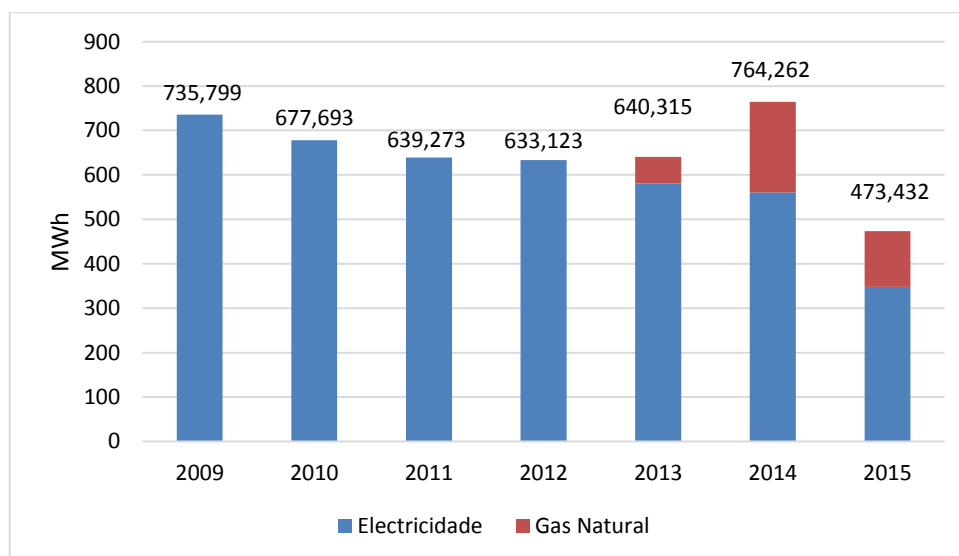


Figura 4.1. Consumo energético nos últimos anos.

Da análise da Figura apresentada verifica-se uma diminuição contínua no consumo da eletricidade nos últimos anos, essa diminuição deve-se principalmente a redução de números de ensaios laboratoriais efetuado no DEC. Outros fatores que contribuíram para essa diminuição é a redução de números de alunos e o enceramento completo do edifício durante duas semanas em agosto, que passou a ser efetuada a partir de 2013. No que desrespeito ao consumo do gás natural não foi possível chegar a uma conclusão sobre a evolução do consumo, visto que a utilização do mesmo só passou a ser registado a partir de novembro de 2013.

De modo a efetuar uma análise mais detalhada do historial do consumo nos últimos anos, fez-se a elaboração da Figura 4.2 onde é apresentada a evolução do consumo da energia eléctrica mensal nos últimos anos.

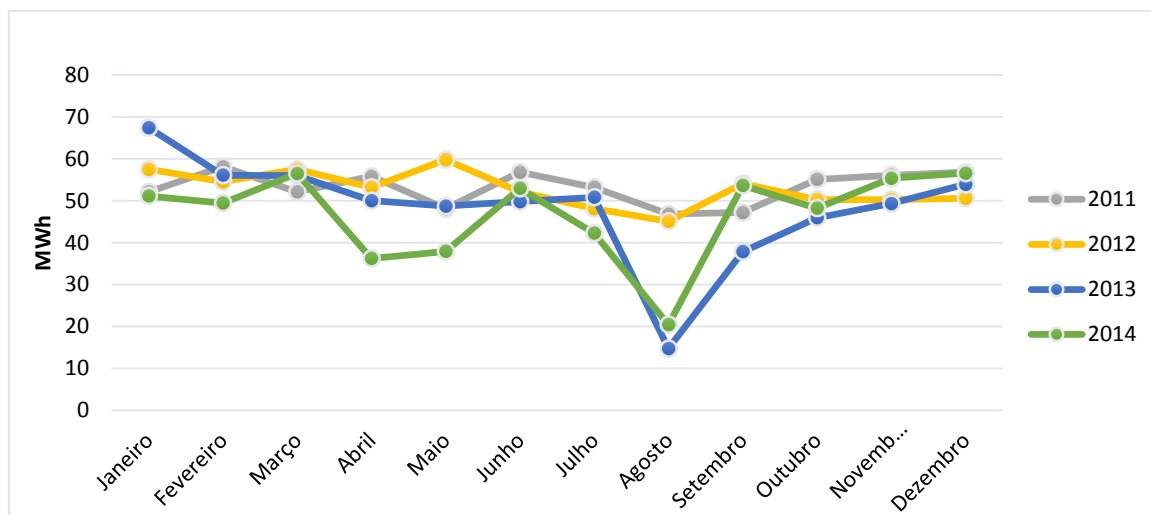


Figura 4.2. Evolução do consumo mensal de energia eléctrica nos últimos anos.

É notória uma diminuição do consumo mensal nos últimos anos, essa diminuição é ainda mais acentuado quando é feita uma comparação dos consumos nos meses de agostos dos últimos dois anos com àquele verificado no mesmo período em 2011 e 2012. Essa diminuição deve-se principalmente ao facto do edifício estar fechado completamente em duas semanas de agosto nos anos 2013 e 2014 enquanto nos outros anos permaneceu aberto.

4.2. Caracterização do consumo no Ano 2014

Para a implementação de um sistema de gestão de energia eficiente é essencial uma caracterização detalhada do consumo energético do edifício, isto é, identificar e quantificar as principais fontes de energia utilizada, os principais consumidores e as áreas de maior consumo. Essa caracterização permite estabelecer padrões de consumo, facilitando o conhecimento dos consumos específicos dos principais sectores.

A Figura 4.3 ilustra o consumo energético referente ao ano 2014, onde pode-se verificar que o consumo total de energia em 2014 foi cerca de 764262 kWh.

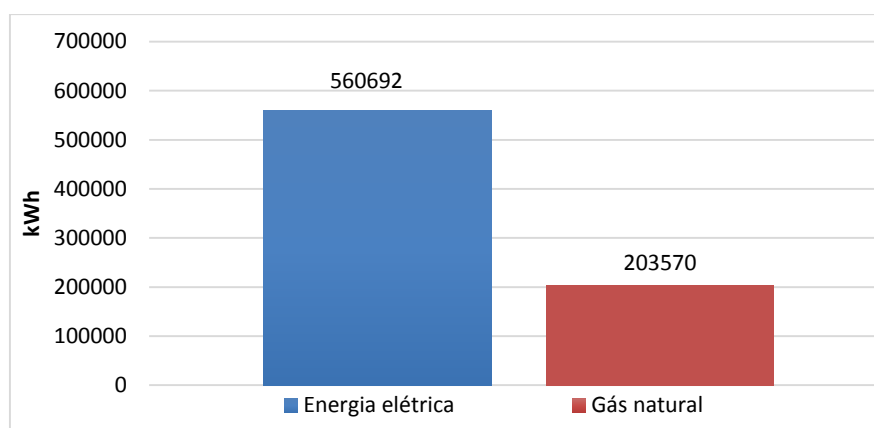


Figura 4.3. Consumo energético em 2014.

Através da análise das Figura, conclui-se que a eletricidade é a principal fonte de energia utilizado no edifício, representado 73 % da energia total consumida. Como já foi referido anteriormente a eletricidade é utilizada em todos os sectores do edifício. O gás natural é utilizada para o aquecimento, representando 27% da energia total consumida no edifício.

Na Figura 4.4 está representada a variação mensal do consumo da energia ao longo do último ano.

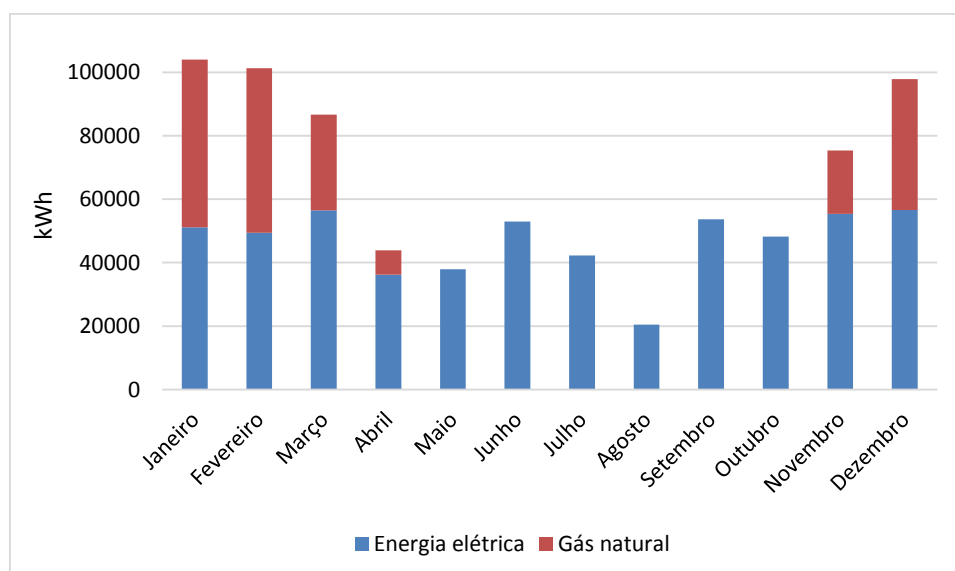


Figura 4.4. Variação de consumo energético ao longo do ano 2014.

O consumo energético varia ao longo do ano, sendo possível verificar os picos ocorrem durante os primeiros e últimos meses do ano, que correspondem aos períodos mais frio, com maiores necessidades de iluminação e aquecimento. O mês de Janeiro foi o mês com maior consumo e como era de se esperar o mês de agosto foi o mês com menor consumo

que corresponde ao período de férias escolares. Outra informação interessante retirado da Figura 4.4 é o elevado consumo de energia elétrica verificado no mês de junho, que é mês onde a utilização do edifício é menor por ser dedicado a exames. Esse consumo pode ter sido resultante de uma utilização pouco eficiente dos aparelhos de arrefecimento, nomeadamente os aparelhos individual de climatização do tipo *split*. O gás natural é utilizado em 6 meses do ano, tendo o máximo do consumo verificado em janeiro. É importante salientar que o gás natural é utilizado em dias uteis das 7:30h ate as 19:30h.

Aliado aos consumos, surgem os custos energéticos que representam uma elevada parcela no orçamento anual do DEC. A Figura 4.5 mostra a evolução dos custos energéticos ao longo do ano 2014.

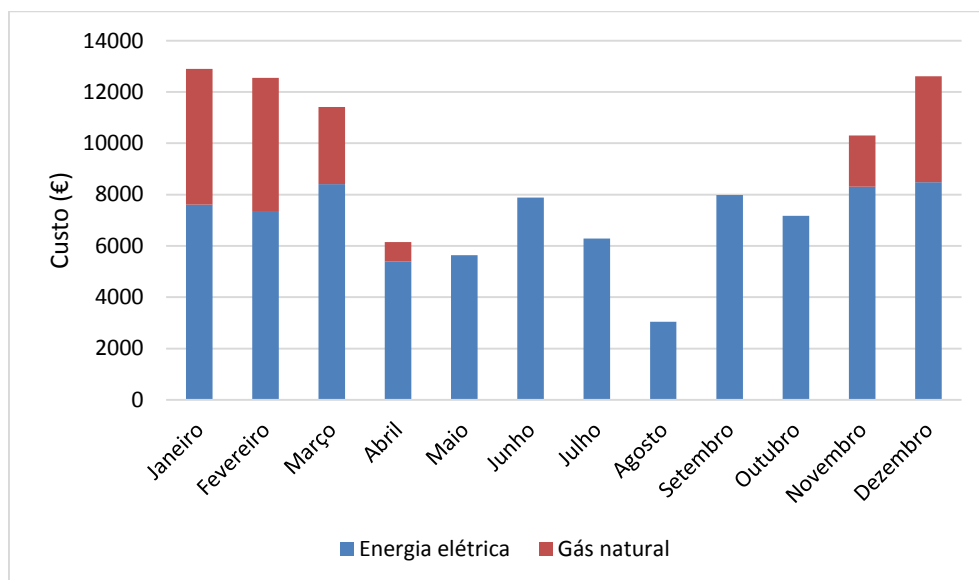


Figura 4.5. Variação de custo energético ao longo do ano 2014.

O custo energético total em 2014 foi de 102.325€ como é possível verificar através da Figura anterior, o consumo da eletricidade foi o principal responsável por esse custo, representando 82% do custo verificado em 2014.

Na Figura 4.6 está representada a desagregação do consumo de energia por utilização final, é essencial conhecer as percentagens de consumo de cada consumidor para ter o conhecimento onde a energia está a ser mais utilizada e uma atuação eficiente na sua redução.

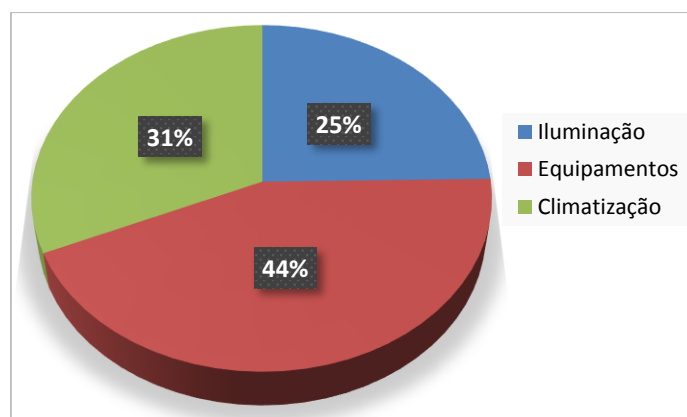


Figura 4.6. Desagregação do consumo de energia por utilização final.

Como é possível constatar através da Figura 4.6 a maior parte de energia é utilizada no sector dos equipamentos, que engloba tanto equipamentos de escritórios (computador, monitor, videoprojector, impressora etc), como equipamentos laboratoriais e elevadores. A climatização apresenta-se como segundo maior consumidor e por último está o sector da iluminação.

A desagregação do consumo por utilização final é muito importante para uma gestão eficiente de energia no edifício, porque ilustra onde a maior parte de energia esta a ser utilizada, com essa informação estabelece um plano de ação, atribuindo prioridades de intervenção para o sector que apresenta maior consumo.

Nas Figuras a seguir fez-se a comparação entre os números de aulas com o consumo energético em quatro períodos deferente do ano.

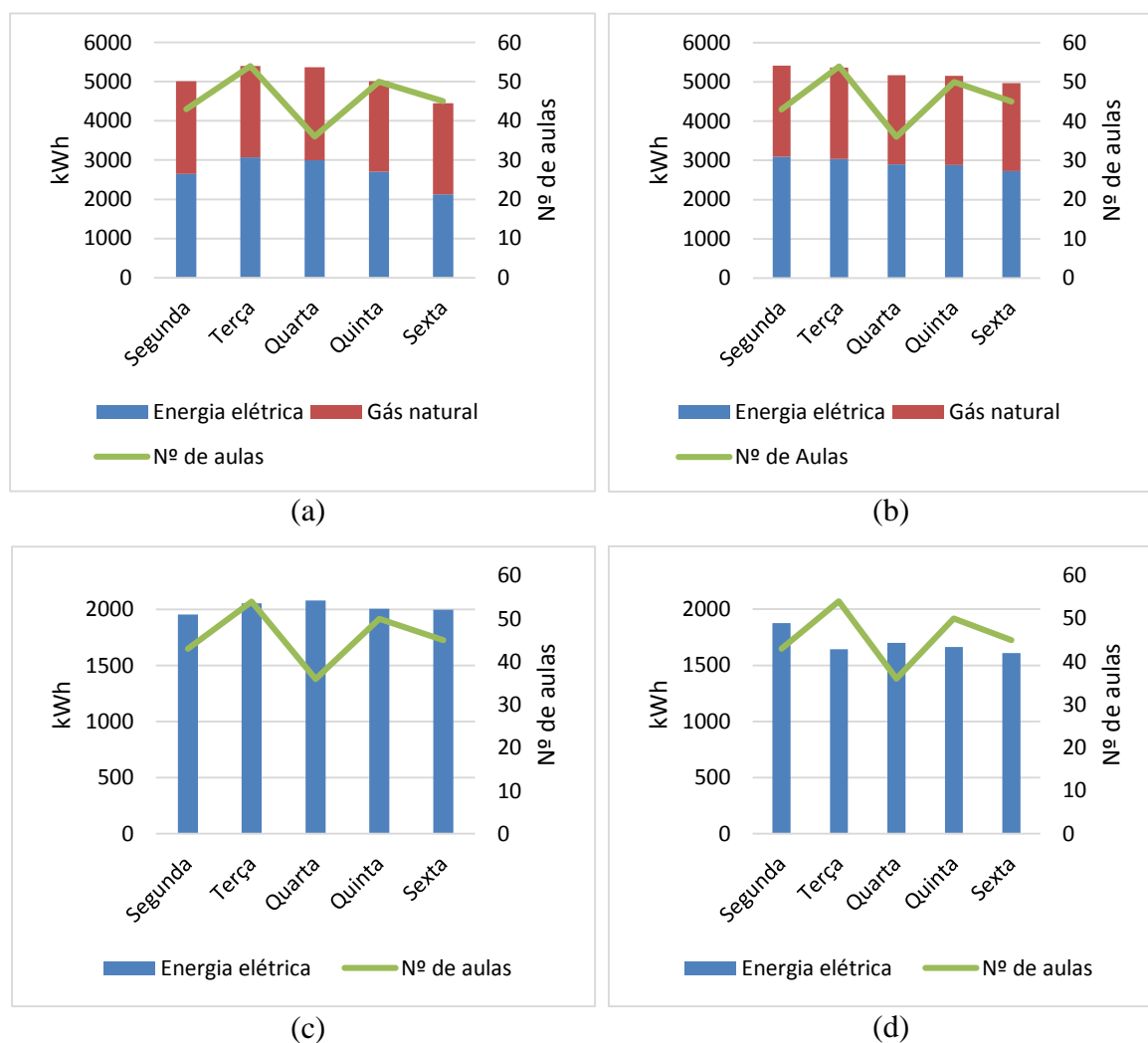


Figura 4.7. Consumo energético vs Nº de aulas: (a) dezembro 2014, (b) março 2015, (c) outubro 2014 e (d) junho 2015.

Com a análise da Figura 4.7 verifica-se que a variação de números de aulas não se correlaciona com o consumo energético do edifício, isso porque verificou-se que a variação de números de aulas não tem impacto significativo no consumo do edifício.

De modo a avaliar o peso da temperatura exterior no consumo do edifício em diferentes períodos do ano, fez-se os gráficos que serão apresentados na Figura 4.8.

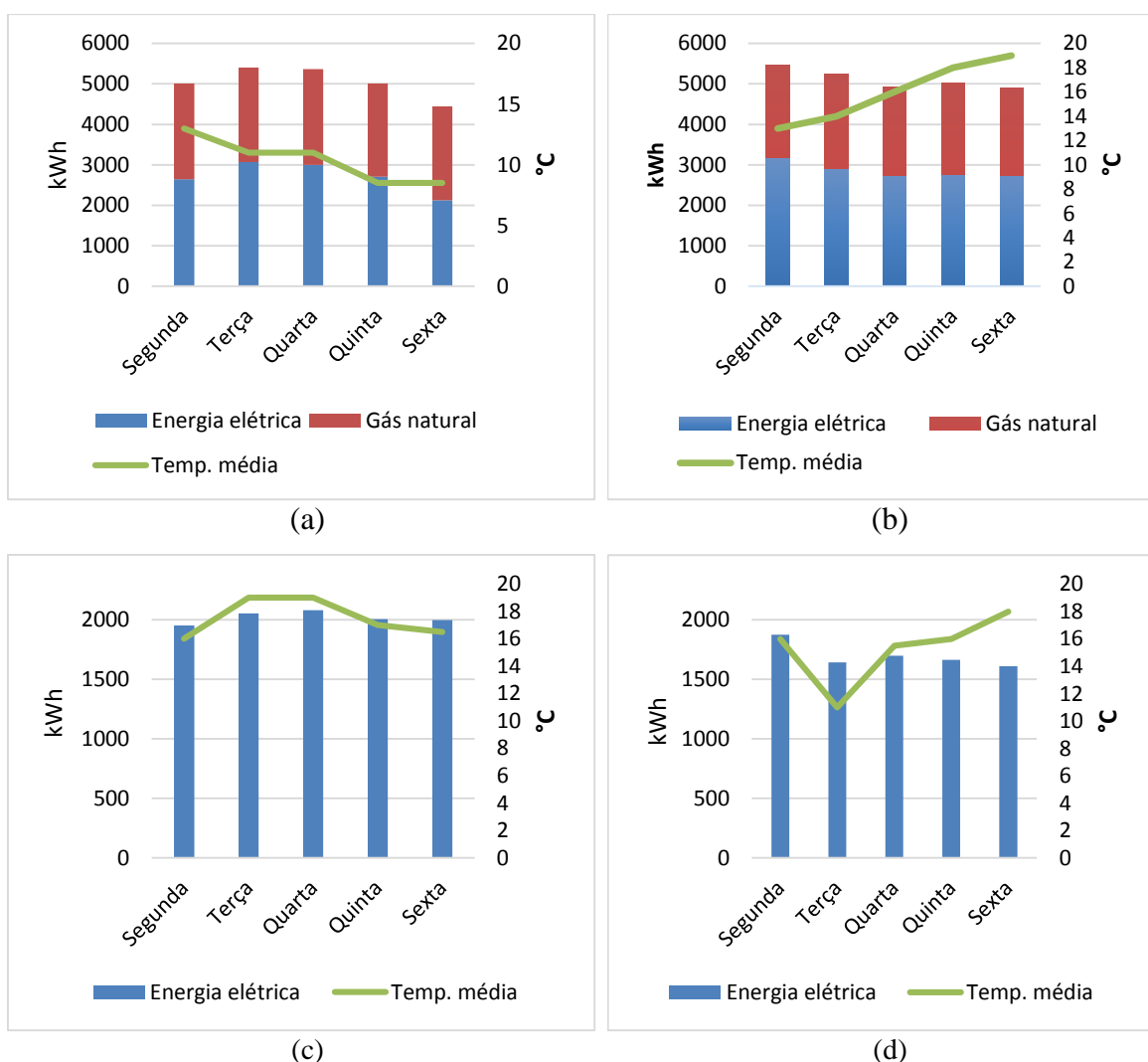


Figura 4.8. Consumo energético vs Temperatura média: (a) dezembro 2014, (b) março 2015, (c) outubro 2014 e (d) junho 2015.

Com a análise dos gráficos da Figura 4.8 conclui-se que a variação diária da temperatura média tem impacto significativo no consumo diário de energia, deste modo são necessárias medidas para limitar a influência da temperatura no consumo energético do edifício. Essas medidas passam por intervenção na envolvente com vista a melhorar o isolamento térmico do edifício.

4.2.1. Consumo de Eletricidade no Ano 2014

A eletricidade é a principal fonte de energia utilizado no DEC, e também o que representa maior custo como foi apresentado anteriormente, neste sentido é essencial saber onde, quanto e quando é utilizado.

Na Figura 4.9 ilustra-se o consumo da eletricidade em diferentes áreas do DEC que é um dado importante porque informa onde é mais importante e urgente atuar.

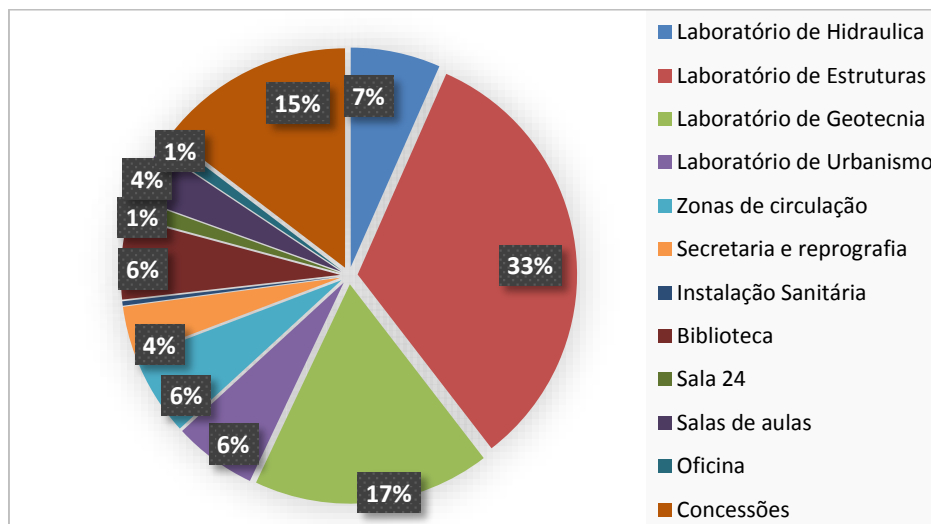


Figura 4.9. Desegregação do consumo de eletricidade em diferentes áreas.

A maior parte da energia elétrica é consumida em zonas laboratoriais, isso deve-se a grande concentração de equipamentos com elevadas potencia e também por gabinetes estarem incluídas nessas zonas.

O laboratório de Estrutura representou 33 % do consumo de energia elétrica total do edifício no ano 2014. Esse consumo excessivo pode ser explicado por inúmeros ensaios realizado nesse laboratório com equipamento de elevada potência. Nesse sentido é essencial realizar uma análise detalhada ao laboratório com intuito de identificar os equipamentos com maior consumo e apresentar oportunidades de melhorias.

Na Tabela 4.1 é apresentado o consumo de energia elétrica em horário útil e horário não útil. O horário não útil inclui o consumo no período noturno e dos fins-de-semana.

Tabela 4.1. Consumo em períodos não úteis e período útil.

	Consumo de energia elétrica	% de consumo
Períodos não úteis	284383	51
Período útil	276309	49
Total	560692	100

Com a análise dos dados da Tabela 4.1 verifica-se que a maior parte de energia elétrica utilizada no edifício ocorre em horários não úteis, representando 51% da energia

elétrica total consumida em 2014. Dos 51 % de eletricidade utilizada em horário não uteis, 23% é referente ao consumo nos fins-de-semana e 28% consumo verificado no período noturno. Este elevado consumo registado no horário onde o edifício não é utilizado pode ter sido provocado por equipamentos (laboratoriais e de escritório), sistema de iluminação ou sistema de climatização que ficaram ligados na maioria dos casos por negligência dos utilizadores. Deste modo é essencial que no edifício fosse instalado um sistema de enceramento automático, que permite-se o encerrar automaticamente os sistemas de iluminação e climatização como também todos os equipamentos que não justifique o seu funcionamento durante esses períodos.

Na Figura a seguir é apresentado o consumo médio diário de energia elétrica do edifício em diferentes épocas do ano, com objetivo de avaliar a performance energético do edifício nessas épocas.

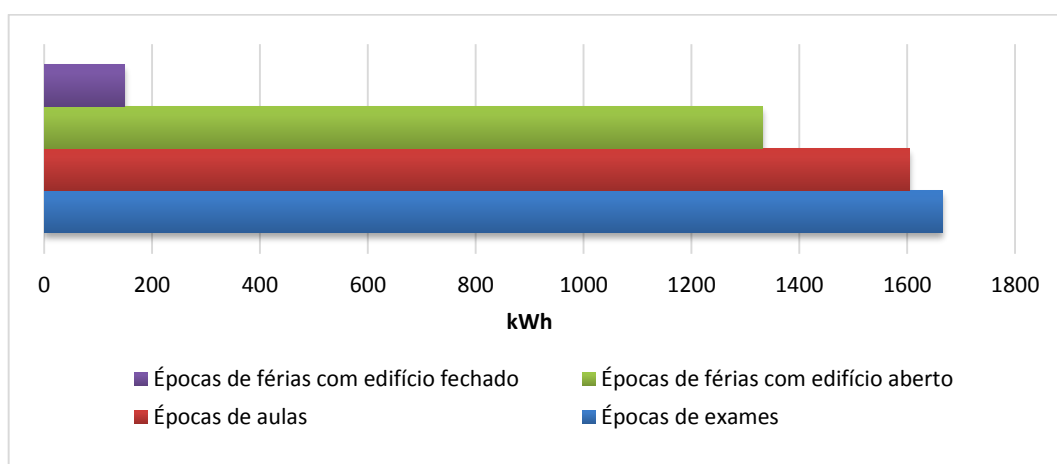


Figura 4.10. Média de consumo diário em diferentes períodos do ano.

Com análise da Figura 4.10 é possível verificar que o edifício apresenta um consumo elevado mesmo nas épocas de férias se permanecer aberto, esse consumo é um indício que o edifício tem um consumo de base muito elevado. Uma das soluções sugeridas seria fechar o edifício completamente sempre que for possível e uma verificação completa de todos os sistemas instalado sempre que edifício entrar em épocas de férias.

4.3. Indicadores de Eficiência Energética

Os indicadores de eficiência energética são importantes para caracterizar o edifício, permitindo o acompanhamento da evolução da eficiência energética ao longo do

tempo. Nesta secção calculou-se alguns indicadores que melhor demonstram o desempenho energético do edifício.

As Tabela 4.2 e Tabela 4.3 apresentam-se indicadores energéticos e económicos calculados para o edifício. A área útil do edifício é 12200 m².

Tabela 4.2. Indicadores energético de 2014.

Indicador	Valor
Consumo energético anual (kWh/ano)	764264
Consumo anual de eletricidade (kWh/ano)	560692
Consumo anual do gás natural (kWh/ano)	203572
Consumo médio diário de eletricidade (kWh/dia)	1536
Consumo médio diário do gás natural (kWh/dia)	558
Consumo anual /área útil (kWh/ (m ² *ano))	63
Consumo anual/aluno (kWh/ (aluno*ano))	590
Média diária do consumo diurno (kWh)	1567
Média diária do consumo noturno (kWh)	527

Tabela 4.3. Indicadores económicos de 2014.

Indicador	Valor
Custo energético anual (€/ano)	102325
Custo anual de eletricidade (€/ano)	84136
Custo anual de gás natural (€/ano)	18189
Custo médio diário de eletricidade (€/dia)	231
Custo médio diário do gás natural (€/dia)	50
Custo energético anual /área útil (€/(m ² *ano))	8
Custo energético anual/aluno (€/(aluno*ano))	88

Esses indicadores podem ser utilizados para comparar o desempenho energético entre os edifícios de ensino ou serviços. Através dessas comparações é possível identificar pontos fortes e fracos, bem como oportunidades de melhoria, que poderão conduzir a um melhor desempenho.

Com objetivo de analisar o desempenho energético do DEC fez-se uma comparação do consumo energia elétrica anual por área com outros departamentos localizado no Pólo II, Figura 4.11.

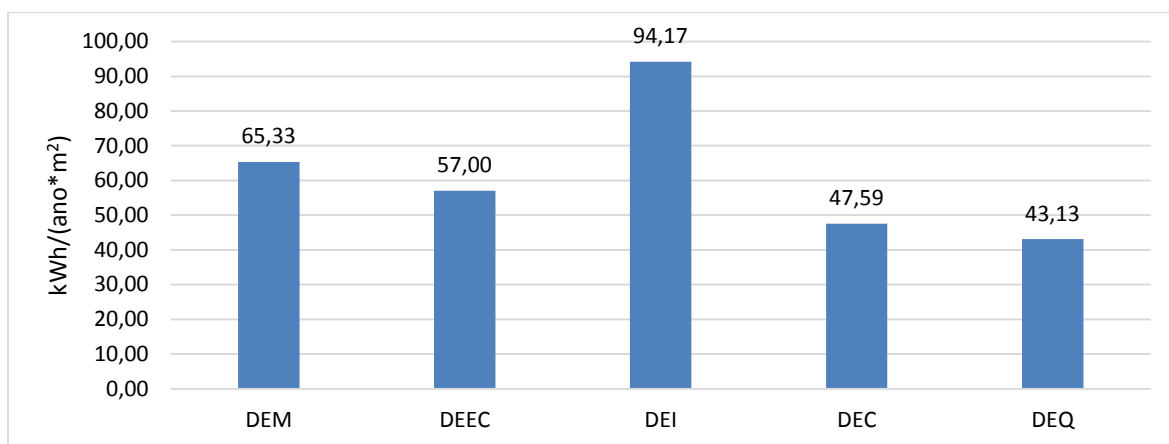


Figura 4.11. Comparação de consumo de energia eléctrica por área útil entre os edifícios do polo 2, em 2013.

Com a análise do gráfico conclui que o DEQ é o departamento que apresenta o menor consumo por área, isto é, o melhor desempenho energético segundo este indicador, e o DEI é o edifício que apresenta pior desempenho energético.

Em seguida fez-se a comparação em relação ao consumo elétrico anual por números de alunos inscrito Figura 4.12.

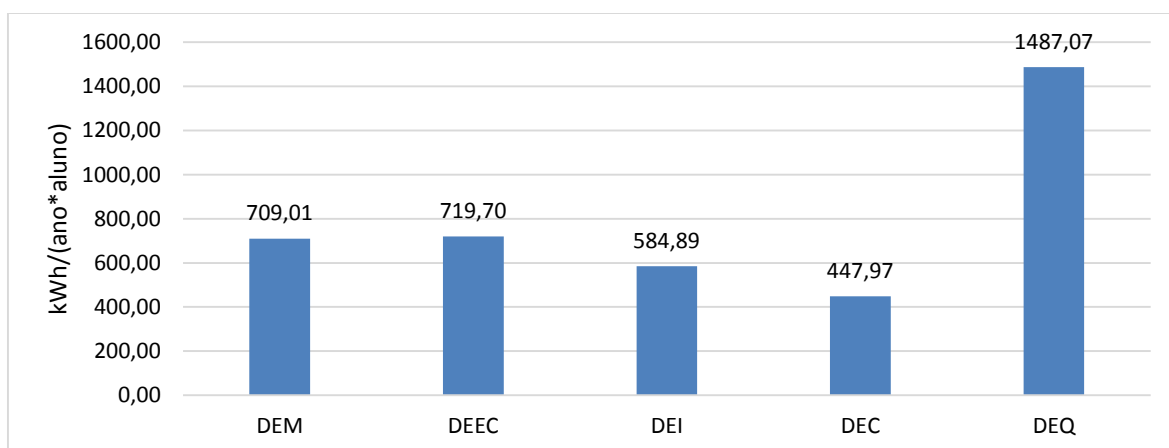


Figura 4.12. Consumo de energia eléctrica por aluno inscrito em 2013.

Ao contrário da conclusão retirada da figura anterior, segundo esse indicador o edifício com a pior performance energético é o DEQ e com a melhor é o DEC.

Analisando dois indicadores diferentes obteve-se resultados diferentes, o que levanta dúvidas sobre qual departamento apresenta melhor desempenho energético. Mas o grande objetivo para cálculos desses indicadores é de comparar o desempenho energético do edifício de ano para ano. Permitindo assim acompanhar a evolução da performance

energético do edifício ao longo dos anos, avaliar as eficiências das medidas implementadas e adotar novas medidas caso sejam necessárias.

5. PROPOSTAS DE MELHORIAS

Após uma análise e caracterização detalhada do consumo do edifício, identificaram-se várias oportunidades de racionalização de energia de modo a melhorar o desempenho energético do DEC.

5.1. Iluminação

O conceito de eficiência energética na iluminação torna-se insignificante se o sistema de iluminação não fornecer as condições adequadas à realização das diversas tarefas por parte dos seus utilizadores. A adoção de tecnologias energeticamente eficientes não deve, sob nenhuma hipótese, prejudicar o conforto e a satisfação dos utilizadores (Louçano, 2009).

No edifício em estudo, a iluminação representa uma grande percentagem da energia consumida sendo a principal razão a baixa eficiência do sistema de iluminação existente. Neste sentido vão ser apresentadas algumas medidas a implementar de modo a aumentar eficiência nesse sector.

5.1.1. Substituição de Lâmpadas Fluorescente Tubular T8 por T5

De acordo com os estudos técnicos existentes na literatura, sabe-se que as lâmpadas fluorescentes tubulares T5⁵ apresentam um rendimento superior àquelas obtidas com as lâmpadas T8⁶, Neste sentido, propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescente tubular T8 por lâmpadas fluorescente tubular T5, conduzindo a uma poupança na ordem dos 20-30%. Além dos benefícios ambientais, visto que as lâmpadas T5 possuem menos 70% de vapor de mercúrio que as T8, Figura 5.1.

⁵ Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 16 mm

⁶ Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 26 mm



Figura 5.1. Lâmpadas T5 e T8

As lâmpadas fluorescentes T5 utilizam apenas balastros eletrônicos, deste modo é necessário a substituição de todos os balastros convencionais existentes no edifício por balastros eletrônicos. Além da redução do consumo, a substituição dos balastros apresentam outras vantagens tais como:

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do ruído audível: como os balastros eletrônicos funcionam acima da gama audível de frequências, o problema do ruído é eliminado;
- Proporcionam arranques suaves às lâmpadas, aumentando a vida útil e reduzindo os custos de manutenção da lâmpada;
- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros eletrônicos que permitem a regulação do fluxo luminoso. Isto permite uma poupança considerável de energia nas situações em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático.

As Substituições dos balastros serão feitas em todos os espaços onde estão instalados lâmpadas de descarga, e a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por T5 será apenas em locais onde existem este tipo de lâmpadas

As características das lâmpadas e poupanças resultantes dessas substituições estão representadas nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2.

Tabela 5.1. Características das lâmpadas T8 e T5.

	Potência (W)	Potência (Lâmpada +balastro) (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência da Luz (lm/W)
Lâmpadas fluorescentes T8	36	47	2800	59,6
	58	71	4600	64,1
Lâmpadas fluorescentes T5	28	32	2900	90,6
	35	39	3650	93,6

Tabela 5.2. Poupança por lâmpada resultante da substituição de T8 por T5.

Lâmpadas fluorescentes T8+balastro convencional	Lâmpadas fluorescentes T5 +balastro eletrônico	Poupança por lâmpada	% de Poupança
36W	28W	15W	41%
58W	35W	32W	55%

Como é possível constatar através das tabelas anteriormente apresentadas a implementação dessas medidas resultará numa poupança de 41% a 55 % do consumo por lâmpada. Com esses dados e levantamento completo de sistema de iluminação do DEC fez-se o cálculo do investimento inicial necessário para a implementação dessas medidas, assim como a poupança resultante por ano e o período de retorno. Os resultados são apresentados nas Tabela 5.3 e Tabela 5.4.

Tabela 5.3. Poupança resultante da substituição de T8 por T5.

Consumo atual (kWh/ano)	Consumo com T5 (kWh/ano)	Poupança (kWh/ano)
172581,1600	106411,25	66169,91
Custo atual (€/ano)	Custo com T5 (€/ano)	Poupança (€/ano)
25887,17	15961,69	9925,49

Tabela 5.4. Período de retorno de substituição de T8 por T5.

Preço unitário (lâmpada +balastro) (€)	12,99
Custo de investimento (€)	22953,31
Período de retorno (ano)	2.31

Com a implementação das medidas estima-se um investimento inicial de 22953,31€, com isso calculou-se o período de retorno que é de 2 anos e 4 meses, logo constata-se que é uma medida economicamente viável e traz outros benefícios para além de redução do consumo e custo.

5.1.2. Instalação de LEDs nos Anfiteatros

Nos anfiteatros estão instaladas lâmpadas incandescente de 120W, deste modo sugere-se a instalação de um sistema de iluminação mais eficiente, nomeadamente a instalação de lâmpadas LEDs.

Devido ao baixo consumo de energia, robustez, longo tempo de vida útil e não conterem mercúrio os díodos emissores de luz (LEDs) representam novas oportunidades nas aplicações para a iluminação, apresentando as seguintes vantagens:

- Não produz calor, evita o envelhecimento dos materiais envolventes aumentando a sua vida útil e reduz as necessidades de ar condicionado para compensação da temperatura;
- Maior eficiência, sendo toda a intensidade luminosa irradiada para a zona a iluminar;
- Menor quantidade de resíduos após a vida útil;
- Sem tempo de arranque inicial ou reacendimento;
- Maior resistência (temperaturas baixas, ligar e desligar constante, menor fragilidade);
- Não radia UV nem apresenta mercúrio.

Para determinar a viabilidade económica da medida fez-se os cálculos que serão apresentados nas Tabela 5.5 e Tabela 5.6.

Tabela 5.5. Poupança resultante da substituição de lâmpadas incandescente por lâmpadas LEDs.

Consumo atual (kWh/ano)	Consumo com LEDs (kWh/ano)	Poupança (kWh/ano)
12377,08	1340,72	11036,36
Custo atual (€/ano)	Custo com LEDs (€/ano)	Poupança (€/ano)
1856,56	201,11	1655,45

Tabela 5.6 Período de retorno de Instalação de LEDs nos Anfiteatros .

Números de lâmpadas	126
Preço unitário (€)	25
Custo de investimento (€)	3150
Período de retorno (ano)	1,9

Com período de retorno de 1 ano e 11 meses, essa medida não é só economicamente viável, como também é uma medida essencial para a redução do consumo e aumento da eficiência energética no sistema de iluminação do DEC.

5.1.3. Instalação de Sistemas de Controlo Automático

A instalação de dispositivos que controlam de forma automática a iluminação, permitem uma redução de 20 a 25 % no consumo de energia elétrica, no setor da iluminação, sem reduzir os parâmetros de conforto visual. De acordo com os espaços a iluminar poderão ser instalados no DEC:

- Sensores de presença - adequados para instalações sanitárias e elevadores, estes dispositivos detetam a presença de movimentos acendendo a luz de forma automática;
- Células fotoelétricas – adequado para corredores. Ajustam o fluxo luminoso das lâmpadas em função da radiação solar incidente no local;
- Relógios programáveis – em zonas em que podem ser programados os intervalos de tempo em que o local deverá ficar iluminado.

5.1.4. Medidas Complementares para o Sistema de Iluminação

Nessa secção vão ser sugeridas medidas complementares para o sistema de iluminação:

- Manutenção e limpeza periódica das lâmpadas e luminárias, para permitir a reflexão máxima da luz;
- Usar luminárias de alta eficiência, que permitam que a maior parte possível do fluxo luminoso da lâmpada alcance o plano desejado;
- Aproveitamento da luz natural;
- Limpezas regulares de todas as superfícies translúcidas existentes ou, quando necessário à sua substituição;
- Reduzir o número de lâmpadas ligadas em espaços que apresentam um nível de iluminação excessivo;
- Estudo luminotécnico de alguns espaços, a fim de garantir níveis de iluminação necessários com mínima potência instalada.

5.2. Medidas para o Sistema de AVAC

O DEC apresenta um sistema de gestão técnica para o sistema de AVAC como já foi descrito anteriormente. Nesse sentido propõe-se a implementação de algumas melhorias que foram sugeridas por (Gonçalves, 2014) de modo a aumentar a eficiência do sistema.

Para além da otimização do sistema de gestão técnica, pode ser implementada outras medidas para a redução do consumo nesse sector tais como:

- Aproveitar as horas de maior calor (inverno) ou frio (verão) para renovar o ar;
- Instalação de temporizador nos sistema de climatização, garante que os sistemas de climatização não ficam ligados por esquecimento. Alguns temporizadores permitem ainda programar para serem ligados antecipadamente permitindo um maior conforto quando se inicia o período de trabalho;
- Manutenção do sistema de climatização, prolonga a vida do sistema, aumenta a eficiência energética e garante uma melhor qualidade do ar;
- Instalar sistema que impede a utilização dos split (ar condicionado) enquanto os radiadores estão em funcionamento. Essa medida pode ser importante porque constatou-se que muitas vezes é utilizado os dois sistema de aquecimento em simultâneo;
- Melhorar sistema de isolamento das condutas de circulação das águas quentes;
- Os termóstatos e sensores de temperatura devem estar longe de janelas, fontes de calor ou correntes, para um resultado mais preciso. A utilização de termóstatos de maior precisão contribui também para um melhor controlo da temperatura;
- Trocar as válvulas convencionais para válvulas termostático nos radiadores, permite desligar o sistema de aquecimento quando o espaço chega a temperatura desejado;
- Não ter equipamentos de climatização ligados em espaços vazios. Em salas que não estejam a ser utilizadas, os equipamentos de climatização deverão ser mantidos desligados ou pelo menos deverá ser diminuída a intensidade;
- Regular o excesso de ar nas caldeiras. Essa medida tem um impacto significativo na eficiência das caldeiras.

5.3. Equipamentos

Os equipamentos sendo o maior consumidor de energia no edifício necessitam de uma especial atenção. Grande parte do consumo existente nesse sector é provocado pelos equipamentos laboratoriais como já foi referido anteriormente. Deste modo para a redução do consumo nesse sector é essencial implementar algumas medidas, tais como:

- Implementação de um sistema de enceramento automático dos equipamentos, desligando-os quando o edifício não estiver ocupado Essa medida pode ser muito importante visto que o edifício tem um consumo elevado nos horários não uteis (noturno e fins de semana);
- Identificação e Monitorização dos principais consumidores de energia nesse sector;
- Quando for necessário aquisição de novos equipamentos, devem priorizar equipamentos que apresenta maior eficiência energética;
- Sugere-se uma análise detalhada e levantamentos de todos os equipamentos no laboratório de estrutura visto que, representam 33 % do consumo total de energia elétrica do edifício.

5.4. Aspetos Comportamentais

A eficiência energética e a poupança de energia não se esgotam nas soluções tecnológicas. A implementação e evolução de tecnologias devem ser complementadas com a evolução dos comportamentos, de modo a que possa existir uma utilização de energia racionalizada Os edifícios mesmo com tecnologia de ponta no que desrespeito a eficiência energética, não têm grande utilidade se os comportamentos dos utilizadores não forem o mais adequado (Browne, S., & Frame, 2001).

A mudança de comportamento tem grande impacto no consumo de energia e uma das maiores vantagens é que na maioria das vezes não necessita de nenhum custo. Para reduzir o consumo provocado por comportamentos ineficientes dos utilizadores é necessário um conjunto de medidas que passam por sensibilização dos utilizadores para:

- Aproveitar a luz natural em detrimento da iluminação artificial, tantos nos gabinetes com nas salas de aulas;
- Desligar o sistema de iluminação sempre que ausentar da sala;

- Deligar o sistema de climatização sempre que vai ausentar da sala por um longo período de tempo;
- Desligar o sistema de climatização uma hora antes da saída do serviço;
- Manter portas e janelas fechadas enquanto o sistema de climatização estiver em funcionamento;
- Utilizar os computadores em modo poupança de energia;
- Utilizar de forma racional todos os sistemas existente no edifício (sistema de climatização, iluminação e equipamentos);
- Desligar o sistema de climatização e iluminação e equipamentos sempre que não sejam necessários.

Estas medidas podem ser implementadas através dos cartazes fixados em pontos estratégicos do edifício, *flyers*⁷, mensagens através do correio eletrónico, aparelhos televisivos do DEC, conferências demonstrando a importância do comportamento dos utilizadores na economia de energia no edifício.

A seguir vão ser apresentados exemplos de *flyers*, que podem ser instalados no edifício, Figura 5.2.e Figura 5.3.



Figura 5.2. Exemplo de flyers.

⁷ panfleto de pequenas dimensões utilizado fazer publicidade



Figura 5.3. Exemplo de flyers.

Com a implementação dessas medidas espera-se que os utilizadores tenham conhecimento da importância dos seus comportamentos no consumo energético do edifício, bem como de que forma poderão melhorar esses comportamentos de modo a reduzir o consumo.

5.5. Implementação de um Sistema Fotovoltaico

A descoberta do efeito fotovoltaico permitiu converter a energia libertada pelo sol, sob a forma de radiação solar, diretamente em energia elétrica. As primeiras aplicações foram em casas isoladas e sistemas de bombagem. No entanto, o desenvolvimento do sector deu-se com as instalações ligadas à rede, que permitiram o crescimento exponencial da capacidade de produção e da potência instalada a nível mundial (Raquel, 2010).

A implementação de um sistema fotovoltaico tem várias vantagens como diminuir a fatura elétrica, utilizar uma fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita, provocando uma redução acentuada da emissão de CO₂. O principal entrave na implementação dessa tecnologia é investimento inicial elevado, para além do sistema apresentar um rendimento real baixo e dependência da disponibilidade de radiação solar

No estudo para uma instalação de produção de energia elétrica através de painéis solares fotovoltaicos, pressupôs-se que o edifício oferece uma estrutura correta para a sua implementação, tendo em conta este pressuposto foi a estudada a implementação de um

sistema fotovoltaico com oitentas painéis, tendo potência total de 19,2kWp⁸ instalado/integrado na cobertura do edifício, ocupando uma área de 129,68m² a orientado a sul e com uma inclinação de 35 grau.

Para a estimativa da geração anual dos painéis solar fotovoltaico foi utilizado o Software online PVWatts. Sabendo que os painéis tem uma garantia de performance (potencial nominal) de 90 % nos primeiros dez anos, calculou-se a geração anual de eletricidade nesse período bem como as poupanças anual, cujos valores são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5.7. Cálculos de implementação de um sistema fotovoltaico.

Anos	Geração (kWh/ano)	Performance	Geração útil (kWh/ano)	Custo/kWh	Poupança (€/ano)
1	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
2	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
3	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
4	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
5	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
6	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
7	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
8	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
9	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
10	27259	90%	24533,1	0,15	3679,97
11	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
12	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
13	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
14	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
15	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
16	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
17	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
18	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
19	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
20	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
21	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
22	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
23	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
24	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
25	27259	80%	21807,2	0,15	3271,08
Total			572439		85865,87

⁸ Wp Watt-pico é uma medida de potência energética, normalmente associada a células fotovoltaicas

Tabela 5.8. Cálculo de período de retorno de implementação de um sistema fotovoltaico.

Custo de implementação (€)	36835
Poupança €/ ano	3679
Período de retorno (anos)	10,02

O custo estimado para a implementação do sistema fotovoltaico é aproximado de 36835 €. A geração da eletricidade dos painéis resultará numa poupança anual de 3679 € nos primeiros dez anos, com isso calculou-se o período de retorno que é de 10 anos e 2 meses. A implementação desse sistema permite ao edifício uma poupança de 49030,87€ em 25 anos, para além das outras vantagens referidas anteriormente.

O sistema fotovoltaico pode ser instalado na cobertura do edifício, onde foi calculado uma área disponível de 147,30 m², Figura 5.4.

**Figura 5.4.** Espaços para instalações dos painéis.

5.6. Outras Propostas de Melhorias

Aqui vão ser sugeridas outras medidas de poupança que não se enquadram nas secções apresentadas anteriormente:

- Fechar o edifício completamente no mês de agosto;
- Medição periódica do consumo do edifício, permite identificar ineficiências, avaliar o comportamento do edifício ao longo do ano, fazer comparações com os anos anteriores com vista a verificar se o edifício está a melhorar ou não no que toca a desempenho energético;
- Auditoria e certificação energética do edifício.

6. CONCLUSÃO

Em Portugal os edifícios são responsáveis por cerca de 29% do consumo total de energia primária do país e 62% no que respeita aos consumos de eletricidade. O consumo excessivo verificado nessa área é sobretudo provocado pela baixa eficiência energética no sector, neste sentido é urgente fazer intervenções com vista a reduzir o consumo energético e aumentar a eficiência energética nos edifícios.

Analisando os resultados obtidos verifica-se que a principal fonte de energia utilizada no edifício é a energia elétrica, também aquele que apresenta maior custo. O DEC apresenta um consumo elevado em horários não úteis (noturno e fins-de-semana), sabendo que o edifício encontra encerrada nesses períodos. A maioria desses consumos é causado por equipamentos, sistema de iluminação e sistema de climatização que ficaram ligados por esquecimento durante esses mesmos períodos.

Também verificou-se que a variação de números de aulas não tem grande impacto no consumo do edifício, ao contrário da variação diária da temperatura média que apresenta um impacto significativo no consumo energético do edifício.

Em relação aos indicadores constatou-se que são importantes para comparar o desempenho energético entre edifícios, mas não permitem concluir se um edifício apresenta melhor performance energético ou não que o outro. A mais-valia dos cálculos desses indicadores é que permitem comparar o desempenho do edifício ao longo dos anos, permitindo assim acompanhar a evolução da performance energética do edifício, avaliar a eficiência das medidas implementadas e adotar novas medidas caso sejam necessárias.

Uma das principais observações retirada deste trabalho é que se torna essencial apostar no desenvolvimento e implementação de medidas de carácter comportamental, isso porque é um aspeto que pode representar uma grande poupança no edifício e na maioria das vezes não implica nenhum custo. Por outro lado também é necessário um investimento na implementação de um sistema fotovoltaico, visto que essa medida tem vários benefícios como já foi referido anteriormente, para além de melhorar a imagem do departamento.

A implementação de um Sistema de Gestão de Energia é indispensável para o DEC, visto que contribui significativamente para melhorar a performance energética do edifício, provocando uma redução considerável da fatura energética e dos impactos associados ao consumo de energia. Para além desses benefícios a implementação de um SGE permite ainda a caracterização completa do consumo do edifício, estabelecer planos, metas, objetivo relativo ao consumo energético do edifício, monitorização do consumo dos principais equipamentos, medição e análise periódica do consumo do edifício e para o seu sucesso é indispensável o compromisso da gestão do topo.

O objetivo da dissertação foi alcançado visto que foram criadas ferramentas que auxiliam na implementação de um sistema de gestão de energia no DEC.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Na sequência desta dissertação sugere-se o estudo detalhado do consumo dos principais equipamentos instalados nos laboratórios do DEC, com especial atenção aos equipamentos instalados no laboratório de estrutura.

Outro aspeto importante a ser analisado é a eficiência energética das caldeiras que por problemas técnicas não foi possível analisar nesta dissertação. Também sugere-se estudo da influência do envolvente no consumo energético do edifício. Esse especto não foi abordada por falta de informação sobre a característica do envolvente do edifício.

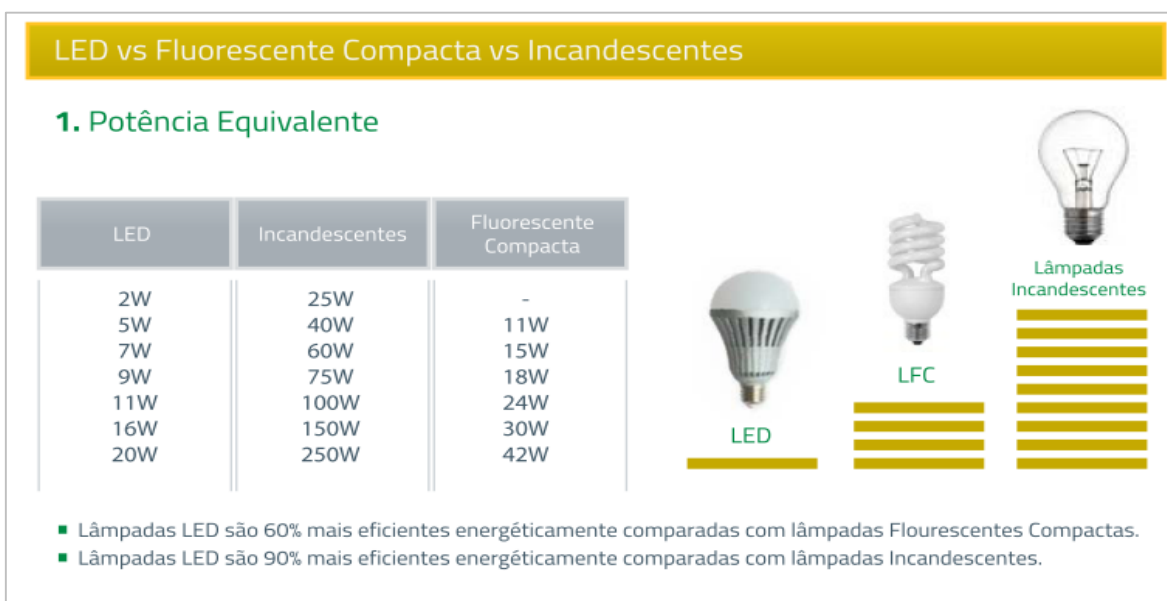
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (2015). CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA - O QUE É. acessado em 7 de Agosto de 2015, de <http://www.adene.pt/textofaqs/o-que-e-0>
- AIDA. (2014). *Sistema de Gestão Energética*.
- APA. (2014). *Relatorio do Estado do Ambiente*.
- BP. (2014). BP Statistical Review of World Energy.
- Browne, S., & Frame, I. (2001). Green buildings need green occupants. *Eco Management and Auditin* 6.
- Dec-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) (2006).
- Dec-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) (2006).
- Dec-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril. Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) (2006).
- DGEG. (2011). *Balanço energético de 2011*.
- Gonçalves, R. A. (2014). *Sistema de Gestão Técnica do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC*. Tese de Mestrado em Eletrotécnica e de Computadores ,Universidade de Coimbra.
- Louçano, N. R. (2009). *Eficiência energética em edifícios : Gestão do sistema iluminação*. Tese de Mestrado em Engenharia Industrial Ramo Engenharia Electrotécnica, Instituto Politécnico de Bragança.
- Raquel, S. (2010). *Eficiência Energética de um Edifício de Serviços*. Tese de Mestrado em Engenharia Renováveis e Eficiência Energetica, Escola Superior de Tecnologia e Gestao ,Instituto Politecnico de Bragança.

ANEXOS

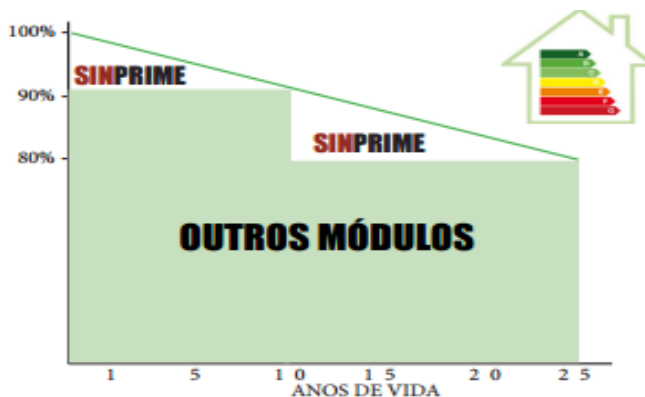
Anexo I. Sistema de iluminação

Potência Equivalente das lâmpadas

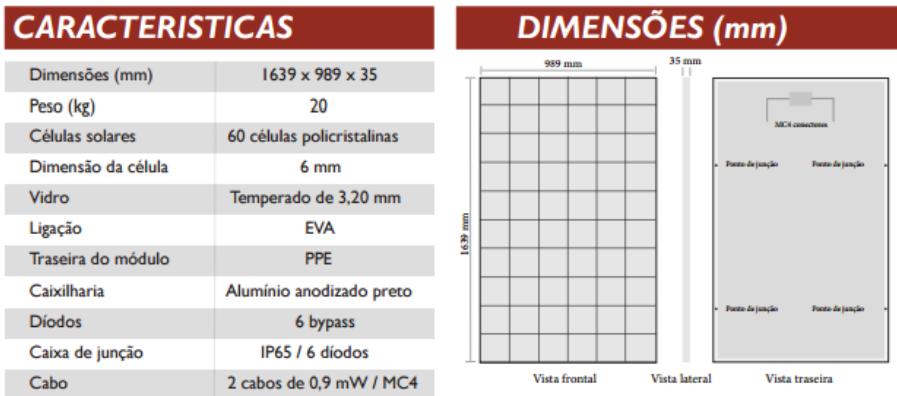


Anexo II. Sistema Fotovoltaico

Potencia nominal garantido na vida útil do painel.



Características dos painéis.



APÊNDICES

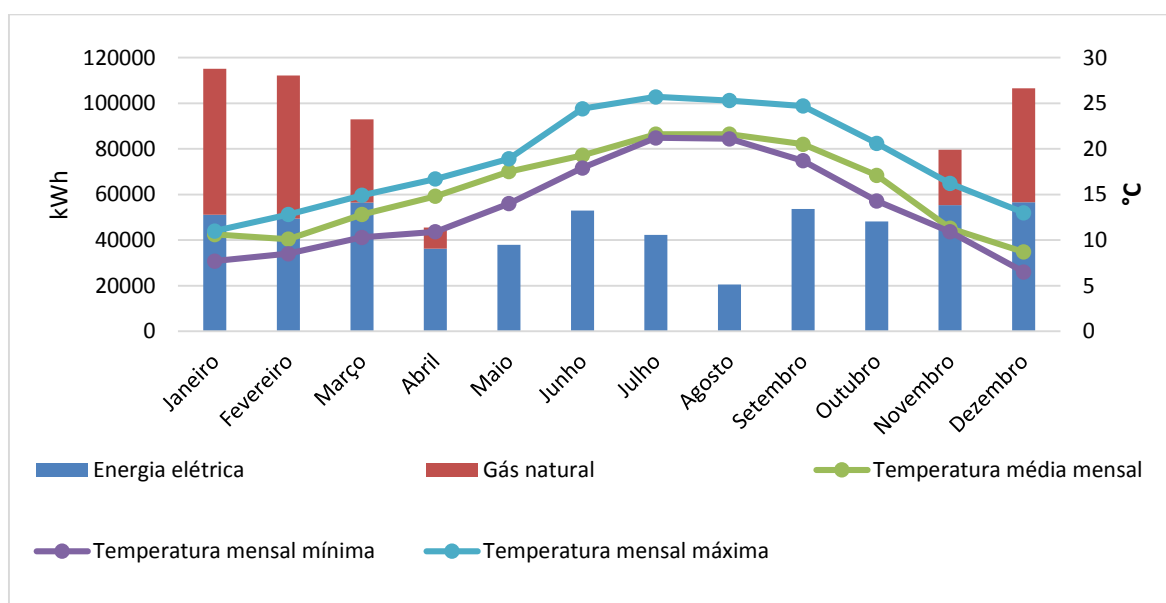
Apêndice I. Descrição do edifício

Dados do edifício

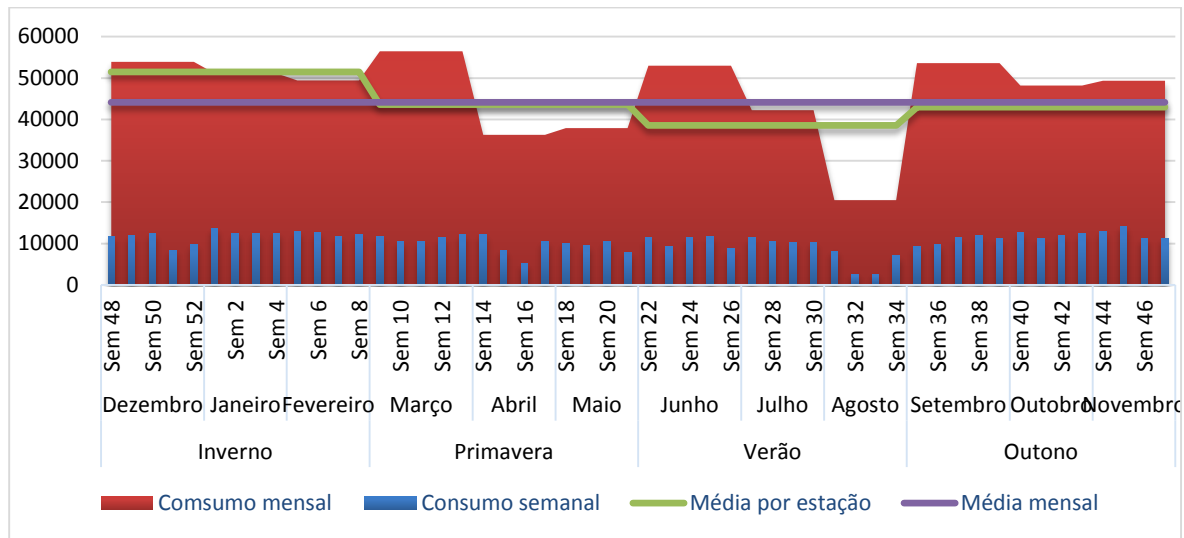
Dados do edifício	
Área total (m ²)	20662
Área útil (m ²)	12200
Nº de pisos	5
Nº de salas de aulas	20
Nº de Gabinetes	96
Nº de Laboratórios	4
Salas administrativas e reprografia	10

Apêndice II. Outros Resultados

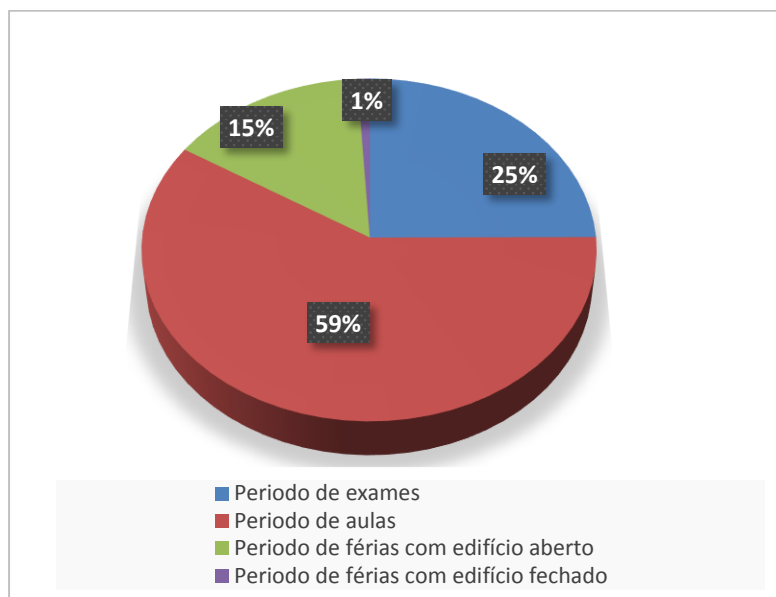
Consumo energético mensal do edifício vs temperatura mínima, média e máxima mensal em 2014.



Evolução do consumo de energia elétrica ao longo do ano 2014.

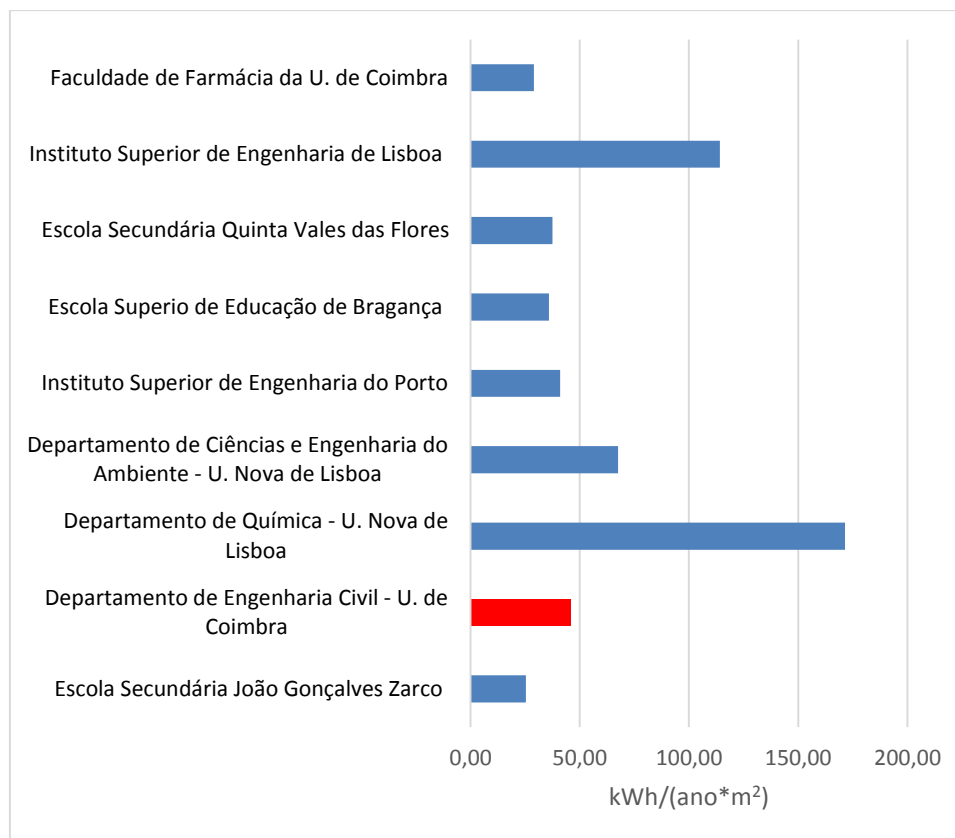


Percentagem de consumo total de energia elétrica em diferentes períodos do ano de 2014.



Apêndice III. Benchmarking

Comparação do consumo de energia elétrica do DEC com outros estabelecimentos do ensino em Portugal



[

