



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação de um Sistema de Gestão de Energia no DEM

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

Autor

Alexandra Carina da Silva Pais

Orientador

Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro

Júri

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

Vogais Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

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

Coimbra, Setembro, 2015

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve.”

Victor Hugo

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado apenas foi possível graças ao apoio e colaboração de algumas pessoas, às quais deixo aqui o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor José Baranda Ribeiro pela disponibilidade e por me transmitir os conhecimentos necessários para a realização deste trabalho.

À Dona Glória Gama pela disponibilidade, pela ajuda e sobretudo pela simpatia ao longo da realização de uma das tarefas desta dissertação.

Aos meus amigos, por todo o apoio, incentivo, companheirismo e ainda por todas as experiências vividas que farão do meu percurso académico, uma das melhores recordações da minha vida.

À minha família pelo apoio e confiança ao longo de todo o meu percurso académico e também pela transmissão de valores e ensinamentos essenciais à minha evolução pessoal.

Um agradecimento especial à minha tia Florbela Silva, para além do apoio e confiança, pelos conselhos e conhecimentos académicos que me foi transmitindo.

Resumo

O aumento das necessidades energéticas atuais e conseqüentemente, o agravamento das conseqüências ambientais associadas, tem vindo a despoletar um grande interesse em torno das questões energéticas.

A aposta na eficiência energética é fundamental para a diminuição da dependência em energia e respetivos consumos globais. Neste sentido, têm sido desenvolvidos sistemas integrados com foco na gestão de energia, para qualquer tipo de organização, que ao permitirem uma racionalização dos seus consumos e custos associados, promovem a melhoria contínua e permitem alcançar um desenvolvimento sustentável.

A presente dissertação pretende implementar um sistema de gestão de energia no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, de acordo com a norma ISO 50001. Seguindo a metodologia *Plan, Do, Check and Act*, procedeu-se à análise dos consumos de energia do edifício, definiram-se estratégias de monitorização de consumos, de comunicação e sensibilização dos utilizadores e ainda foram apresentadas algumas boas práticas relativas ao consumo de energia.

Concluiu-se que não existe atualmente um olhar crítico sobre os consumos de energia do edifício, pelo que, a nomeação de um gestor de energia e a criação de uma equipa de gestão de energia, a elaboração de estratégias de gestão, a instalação de contadores parciais pelo edifício e o *Benchmarking* interno ao edifício, poderão ser o ponto de partida para que se consigam alcançar poupanças significativas de energia.

Palavras-chave: Consumo energético, Eficiência energética, Indicadores de desempenho energético, Sistema de gestão de energia.

Abstract

The increase in current energy needs and consequently the worsening of the associated environmental consequences has triggered a great interest around energy issues.

The focus on energy efficiency is a key to reducing the dependence on energy and respective global consumption. In this sense, have been developed integrated systems with a focus on energy management for any type of organization, by allowing a rationalization of its consumption and associated costs, drive continuous improvement and allow achieving sustainable development.

This thesis aims to implement an energy management system in the Mechanical Engineering Department at the University of Coimbra, based on the international standard ISO 50001. Following the Plan-Do-Check-Act methodology, the building energy consumption were analyzed, it was defined consumption monitoring, communication and awareness of users strategies and were also presented some good practices related to energy consumption.

It was concluded that there isn't a critical look at the building's energy consumption, and therefore, the nomination of an energy manager as well as the creation of an energy team, the development of management strategies, installation of partial meters and the internal benchmarking to the building, could be the starting point for achieving significant energy savings.

Keywords Energy consumption, energy efficiency, energy management system, energy performance indicators.

ÍNDICE

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Siglas	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Descrição do Problema em Estudo	2
1.3. Objetivos do Estudo	3
1.4. Estrutura da Dissertação	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. O Sistema de Gestão de Energia	5
2.1.1. Planeamento	7
2.1.2. Implementação	8
2.1.3. Verificação	9
2.1.4. Ação/Revisão para a melhoria contínua	10
2.2. Indicadores de Desempenho Energético	11
3. CASO DE ESTUDO	14
3.1. Breve Caraterização do Caso de Estudo	14
3.2. Responsabilidades da Gestão	15
3.3. Obrigações Legais	16
3.4. Documentação	17
3.5. Análise de Consumos Energéticos	17
3.5.1. Consumos mensais e anuais de gás natural e eletricidade	19
3.5.2. Consumos monitorizados de gás natural e eletricidade	24
3.5.3. Desagregação dos consumos de energia	34
3.5.4. Equipamentos elétricos	37
3.5.5. Indicadores de desempenho energético	39
3.6. Planos de Ação e Propostas de Melhoria	42
3.6.1. Monitorização dos consumos	42
3.6.2. Sistema de aquecimento	44
3.6.3. Sistema de iluminação	45
3.6.4. Equipamentos elétricos	47
3.7. Sensibilização, Formação e Comunicação	47
3.8. Controlo Operacional	50
4. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXO A – EXEMPLO DE FOLHA DE REGISTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	57
APÊNDICE A – EXEMPLO DE CARTA DE COMPROMISSO DE GESTÃO	66

APÊNDICE B – POSTER INFORMATIVO DE CONSUMO ENERGÉTICO DO DEM	67
APÊNDICE C – EXEMPLO DE FOLHA DE REGISTO DE CONSUMOS DE GÁS NATURAL	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Metodologia de um sistema de gestão de energia [adaptado da ISO 50001:2011]	6
Figura 3.1 Variação de consumos de gás natural	20
Figura 3.2 Variação do custo de gás natural de 2012 e 2013	20
Figura 3.3 Consumo mensal de eletricidade	23
Figura 3.4 Distribuição do consumo médio por tipo de energia entre 2009 e 2011	24
Figura 3.5 Distribuição do consumo de gás pelo período noturno e diurno	25
Figura 3.6 Variação do consumo diário de gás natural com a ocupação do edifício	26
Figura 3.7 Relação entre o consumo de gás das 9h às 19h e a temperatura	27
Figura 3.8 Relação entre o consumo de gás das 19h às 9h e a temperatura	27
Figura 3.9 Variação do consumo diário de gás com a temperatura	28
Figura 3.10 Variação de consumos diários de 1 de janeiro de 2015 a 11 de março de 2015	29
Figura 3.11 Relação entre o consumo de eletricidade e o número de aulas	29
Figura 3.12 Variação horária do consumo de energia elétrica	32
Figura 3.13 Variação horária do consumo de eletricidade com o número de aulas lecionadas	33
Figura 3.14 Variação horária do consumo de eletricidade com o número de alunos no edifício	33
Figura 3.15 Zonas consideradas na auditoria para efeitos de simulação real do edifício do DEM	36
Figura 3.16 Desagregação do consumo de energia elétrica por bloco	36
Figura 3.17 Exemplo de comunicação externa através do <i>website</i> do DEM	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Indicadores de desempenho energético	13
Tabela 3.1 Funções e competências do gestor de energia	15
Tabela 3.2 Características dos sistemas produtores de água quente sanitária.....	18
Tabela 3.3 Características dos equipamentos de climatização	18
Tabela 3.4 Consumos mensais totais e médios diários de gás natural	21
Tabela 3.5 Registo de consumos diários de gás natural	24
Tabela 3.6 Consumos médios desagregados por período de funcionamento	31
Tabela 3.7 Consumos desagregados por tipo de utilização	35
Tabela 3.8 Indicadores de desempenho energético do DEM entre 2009 e 2013	40
Tabela 3.9 Consumo específico de energia por unidade de área nas universidades	41
Tabela 3.10 Medidas de manutenção do sistema de iluminação	50

SIGLAS

DEEC – Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

IEE – Indicador de Eficiência Energética

PRE – Plano de Racionalização de Energia

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SGE – Sistema de Gestão de Energia

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e Motivação

A revolução industrial e o aumento dos padrões de vida das populações, despoletou uma necessidade e uma dependência crescente em energia, estando o seu consumo relacionado, na sua grande maioria, com a utilização de combustíveis fósseis. A utilização excessiva destes recursos não renováveis pressupõe uma elevada taxa de emissão de gases de efeito de estufa (GEE) implicando o agravamento dos vários problemas ambientais existentes. Todos os fenómenos ambientais têm consequências nefastas na sociedade, seja pela afetação direta na saúde e segurança da população mundial, seja pela interferência nas atividades económicas. Assim, torna-se essencial uma consciencialização ambiental e uma mudança comportamental por parte de todos, para que se possa diminuir a utilização excessiva e descontrolada de energia e se consiga assim alcançar o desenvolvimento sustentável.

No sentido de minimizar as emissões de gases de efeito de estufa e o impacto ambiental associado ao crescimento económico e urbano, começaram a ser criadas políticas ambientais de forma a contornar o problema. Em 1997 foi assinado o primeiro tratado jurídico internacional, o Protocolo de Quioto, onde se estabeleceram metas de forma a limitar as emissões de dióxido de carbono nos países desenvolvidos. Recentemente, em 2009, os líderes europeus estabeleceram novas metas com o objetivo de tornar a Europa uma economia de alta eficiência energética, criando assim a Iniciativa 20-20-20, impondo até 2020 o cumprimento dos seguintes objetivos (Ec.europa.eu, 2015):

- Redução de 20 % na emissão de GEE relativamente às emissões de 1990;
- Aumentar em 20 % a utilização de energia a partir de recursos renováveis;
- Melhorar em 20 % a eficiência energética.

Os edifícios são o principal alvo na redução de energia devido ao seu elevado consumo e por ser possível, a curto prazo e com pequenos custos associados, obter elevadas poupanças energéticas (Meier, 2006). A nível europeu, o consumo energético em edifícios chega a atingir cerca de 40 % do consumo global de energia.

Uma vez que é expectável uma redução de 50% no consumo apenas utilizando medidas de eficiência energética, representando uma diminuição de cerca de 400 milhões de toneladas de emissões de CO₂, torna-se prioridade o investimento na certificação energética e numa gestão eficiente da energia (Adene.pt, 2015a).

A nível nacional, Portugal definiu uma nova estratégia, denominada Estratégia Nacional para a Energia, ENE 2020. Com esta iniciativa pretende-se reduzir a dependência energética para o exterior para 74% em 2020, cumprir com o compromisso relativo à iniciativa europeia 20-20-20 e criar riqueza, promovendo a eficiência energética e o desenvolvimento de novos postos de trabalho (Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010).

Desta forma, a existência de um sistema integrado com foco na gestão de energia aplicado tanto em indústrias, como em edifícios, torna-se uma ferramenta essencial na racionalização de consumos energéticos e um contributo fundamental para o cumprimento das metas legais atualmente estabelecidas.

1.2. Descrição do Problema em Estudo

Os edifícios comerciais e principalmente escritórios e edifícios universitários, estão classificados como os edifícios que apresentam um maior consumo de energia (Gul & Patidar, 2015). Este fato deve-se não só à necessidade de satisfazer o conforto dos utilizadores e ao inevitável uso de equipamentos de elevada potência energética, mas também à falta de consciencialização no comportamento energético por parte dos seus ocupantes e da gestão de topo.

O que acontece atualmente é que muitas vezes por falta de conhecimento, ou de consciencialização para esta problemática, não são aproveitadas e implementadas as diversas ferramentas existentes de gestão de energia, traduzindo-se num desconhecimento do comportamento energético e na impossibilidade de identificação de potenciais consumos abusivos com grandes oportunidades de redução energética e económica.

O caso de estudo desta dissertação é referente ao edifício do Departamento de Engenharia Mecânica da FCTUC, edifício este, que já possui alguns estudos relacionados com seu o consumo energético, nomeadamente uma auditoria energética realizada em 2012 (Hauer, 2012) e uma análise dos sistemas de iluminação existentes. (Silva, 2011) No

entanto, questões como, qual a importância destas ferramentas? Ou, como podem estas ser utilizadas para uma melhoria energética e económica do edifício? Ou ainda, de que forma podem ser aproveitadas e melhoradas? Nunca foram levantadas, podendo estas ser respondidas a partir da implementação de um sistema de gestão de energia, SGE.

A implementação do SGE permitirá, assim, utilizar os elementos já existentes associados à caracterização energética do DEM, analisá-los, identificar oportunidades de racionalização dos consumos e, por fim, encontrar medidas de eficiência tanto técnicas como comportamentais que se traduzam num aumento da sua eficiência energética.

1.3. Objetivos do Estudo

O foco desta dissertação é, portanto, planear a implementação de um sistema de gestão de energia no DEM de acordo com a norma ISO 50001:2011. Para a concretização deste objetivo será necessário analisar o padrão de consumo energético do edifício do DEM, identificar os tipos de energia consumidos e os seus principais consumidores, definir indicadores de performance energética, propor medidas de eficiência energética e ainda, captar a atenção dos utilizadores do edifício, a partir de *flyers* e cartazes distribuídos em localizações estratégicas, para a influência e importância do seu comportamento no funcionamento do sistema de gestão de energia.

1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação apresentada está dividida em quatro capítulos principais. O primeiro capítulo “INTRODUÇÃO” tem como objetivo fazer uma breve apresentação do tema, expor as motivações que levaram à realização do estudo e justificar a sua relevância. Neste capítulo são ainda enunciados os objetivos definidos para a dissertação. O segundo capítulo “ENQUADRAMENTO TEÓRICO” pretende apresentar a base teórica utilizada para a realização do projeto, apresentando conceitos e metodologias relevantes, de estudos realizados anteriormente sobre a temática a investigar. “APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO” é portanto o terceiro capítulo apresentado e pretende-se demonstrar a metodologia utilizada de forma a cumprir com os objetivos definidos e ainda os resultados obtidos, nomeadamente como se procedeu à análise dos consumos energéticos, quais os resultados desta análise, quais as oportunidades de poupança energética identificadas e

ainda que medidas poderão ser utilizadas na redução do consumo. Ao longo deste capítulo foram sendo feitas referências aos requisitos definidos pela norma ISO 50001 e definidas ações para a implementação do sistema no caso de estudo. Por fim, no capítulo “CONCLUSÕES” pretende-se apresentar uma síntese das lições retiradas ao longo da dissertação.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. O Sistema de Gestão de Energia

Um sistema de gestão de energia consiste num conjunto de medidas interligadas entre si, que visam obter uma melhoria de desempenho energético a partir da definição e implementação de políticas e objetivos energéticos (EN 16001).

A EN 16001:2009 é uma norma europeia que especifica os requisitos de um sistema de gestão de energia, para que seja possível desenvolver e integrar uma política energética que considere os aspetos significativos de energia. Posteriormente foi criada a ISO 50001:2011, uma norma internacional, com o mesmo objetivo da referida anteriormente, uma minimização de custos de energia, uma redução da emissão de GEE, um aumento da eficiência energética e conferindo às organizações uma vantagem competitiva a nível internacional (Gopalakrishnan, *et al.*, 2014). A norma pode ser aplicada a todos os tipos de organizações independentemente do tipo de setor a que está inserido e a sua dimensão e tem a vantagem de ser integrável noutros sistemas de gestão como, sistemas de gestão ambiental e sistemas de gestão de qualidade. A aplicação desta norma poderá influenciar até 60 % a utilização energética mundial.

Segundo Gopalakrishnan, *et al.* (2014) soluções e mudanças tecnológicas com o objetivo de melhorar poupanças energéticas, promovem a melhoria contínua e criam um plano estratégico de gestão de energia numa organização. Para encontrar essas soluções e proceder a mudanças com potenciais de melhoria torna-se necessário compreender as necessidades energéticas individuais da organização ou edifício, tornando-se impreterível o conhecimento sobre os fatores relacionados com este consumo e de que forma estes podem ser estudados e minimizados.

De acordo com a norma ISO 50001, um sistema de gestão de energia deve seguir a metodologia *Plan-Do-Check-Act* (Ecenter.ee.doe.gov, 2015):

- *Plan* ou Planear: planeamento do sistema de gestão de energia, identificando possíveis oportunidades de melhoria energética, priorizando-as e definindo por fim um plano de ação para as alcançar;

- *Do* ou Implementar: implementar os planos de ação de gestão de energia definidos anteriormente e desenvolver os sistemas de apoio necessários, tais como comunicação, formação, consciencialização e controlos operacionais.
- *Check* ou Verificar: monitorizar e verificar se o processo vai de encontro aos objetivos definidos, fazendo as devidas correções, se necessário.
- *Act* ou Atuar: revisão e avaliação da eficácia do sistema por parte da administração e realização de ações que permitam a melhoria contínua do SGE.

É importante referir que o sucesso do SGE é ainda fortemente dependente do envolvimento da gestão de topo, não só porque deverá estar envolvida na comunicação regular dos sucessos alcançados, mas também devido ao fato de ser a responsável pela aprovação do sistema de gestão de energia, fornecer o suporte financeiro e todos os recursos necessários ao funcionamento e melhoria do sistema. Desta forma, torna-se pertinente o estabelecimento de uma política energética, onde a gestão de topo estabelece as intenções e o comprometimento da organização para com o SGE. A gestão de topo deverá ainda ser responsável por definir um gestor de energia e uma equipa de gestão de energia competente e com disponibilidade para executar e assumir as responsabilidades atribuídas.

A Figura 2.1 representa esquematicamente a metodologia abordada pela ISO 50001 (2011).

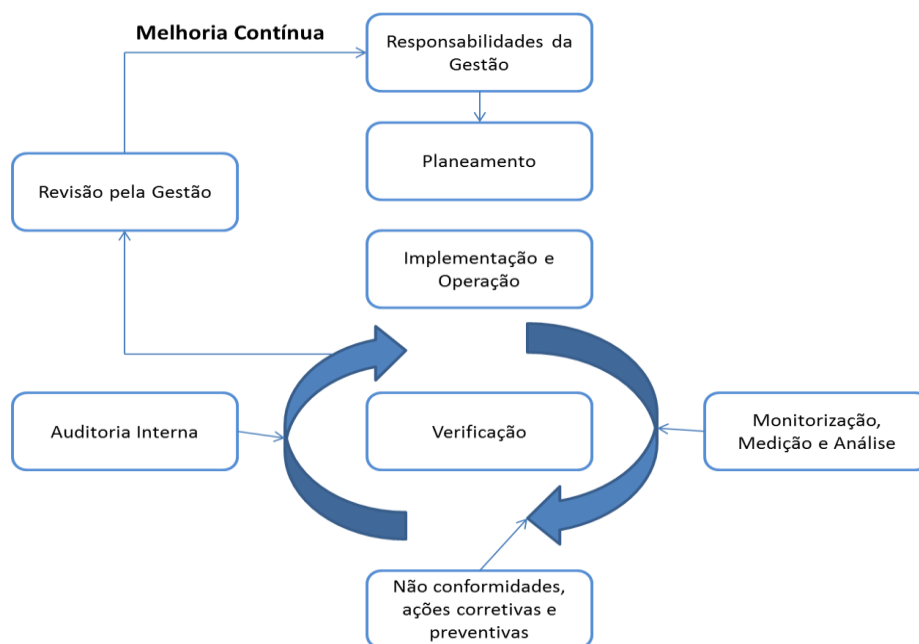


Figura 2.1 Metodologia de um sistema de gestão de energia [adaptado da ISO 50001:2011]

2.1.1. Planeamento

O planeamento é a primeira fase de implementação do sistema de gestão de energia e permite à organização conhecer e compreender o consumo de energia associado às suas operações e sistemas. É necessário portanto desenvolver um perfil de situação energética, analisando dados de energia recolhidos, estabelecer objetivos e planos de ação que visem uma melhoria no desempenho energético. A ISO 50001 (2011) exige ainda que este planeamento seja um processo documentado.

Com base no *DOE eGuide* (Ecenter.ee.doe.gov (2015)), os *outputs* desta fase são obtidos a partir do cumprimento dos seguintes passos:

- Identificar os requisitos legais associados ao edifício ou organização em questão, para que esse limites legalmente estabelecidos, sejam considerados e não sejam ultrapassados;
- Identificar tipos de energia final consumidos e o modo como cada um deles é utilizado, analisando todos os equipamentos ou sistemas associados a cada tipo de energia;
- Criar um processo de recolha e arquivo das faturas relativas a cada um dos tipos de energia consumidos, identificando os responsáveis pela execução deste processo;
- Analisar consumos de energia e custos associados, de forma a perceber o impacto dos vários sistemas e equipamentos no consumo de energia, sendo esta análise facilitada a partir do desenvolvimento de indicadores de desempenho, ou seja, parâmetros quantitativos de desempenho energético normalizados, que permitem avaliar melhorias no uso de energia. A análise deve ser documentada e apresentada de forma a ser facilmente interpretada por qualquer utilizador;
- Determinar e priorizar propostas de melhoria permitindo que a organização concentre os seus recursos limitados nas utilizações significativas de energia ou nas que apresentam um potencial considerável de melhoria;
- Estabelecer uma linha de base, um ponto de referência baseado nos dados de energia antes da aplicação de quaisquer medidas de melhoria, usado como ferramenta de comparação na avaliação de desempenho;
- Estabelecer objetivos e metas de melhoria, ou seja, clarificar os resultados qualitativos que a organização pretende atingir, estabelecendo os requisitos quantitativos necessários para alcançar esses objetivos;

- Planear a forma em como a comunicação interna e externa do sistema será efetuada e ainda, quais os tipos de formação necessários ao bom funcionamento do sistema de gestão de energia;
- Escolher as propostas de melhoria a serem implementadas, de entre todas as oportunidades identificadas. Os fatores para a escolha das propostas poderão ser a redução de custos, os recursos disponíveis para a realização do projeto, facilidade de implementação ou ainda o maior contributo ambiental;
- Preparar um plano de ação, onde é importante designar um gestor de energia ou uma equipa de gestão de energia com o apoio de um representante da administração. No plano de ação devem estar descritos os recursos necessários para concluir as atividades, o prazo e as pessoas responsáveis para a sua conclusão e ainda, a descrição do método para verificar os resultados da implementação das propostas de melhoria.

Nesta fase, poderão ser encontrados potenciais problemas como: escolha de medidas com as prioridades erradas, tornando-se essencial a utilização de critérios sólidos para a sua seleção; implementação de várias medidas ao mesmo tempo, fazendo uma gestão dos recursos disponíveis pouco eficiente; dificuldade ou impossibilidade de verificação de resultados de algumas medidas.

2.1.2. Implementação

Nesta fase prevalece a importância comportamental das pessoas envolvidas no sistema de gestão de energia. A falta de conhecimento da importância do sistema e da motivação em melhorá-lo por parte das pessoas integrantes da organização pode ser o suficiente para levar ao fracasso os projetos propostos.

Para a fase de implementação é fundamental (Ecenter.ee.doe.gov, 2015):

- Executar o plano de ação;
- Gerir e controlar a informação, permitindo que a informação esteja disponível quando necessária, que se confirme se as informações foram transmitidas corretamente ou se os resultados obtidos foram mantidos. Os dois principais tipos de comunicação da informação são os documentos e os registos, sendo que, o primeiro define as expectativas para as ações, focando-se no que deve ser feito e o

segundo, pretende fornecer provas dos resultados e da eficácia atingida por esses esforços;

- Fornecer formação e facilitar a comunicação, permitindo que os responsáveis pelas funções relacionadas com o consumo energético tenham as competências adequadas e o conhecimento pleno das suas responsabilidades, para a execução dessas mesmas funções. A comunicação interna e externa é essencial para uma mudança bem-sucedida na gestão energética. É importante perceber quais as melhores formas de comunicação para que os utilizadores percebam em que é que as suas ações contribuem para a organização.
- Estabelecer verificações operacionais, garantindo que os equipamentos ou sistemas sejam utilizados e mantidos de forma a cumprir com os objetivos estabelecidos. Estas verificações podem ser traduzidas em procedimentos e instruções de trabalho ou controlo físico e deverão ser devidamente planeados e identificados;
- Considerar a gestão de energia no projeto de novas ou renovadas instalações, equipamentos ou processos, que possam causar um impacto relevante no desempenho energético;
- Incluir considerações sobre energia na compra de produtos, equipamentos ou serviços consumidores de energia;

As principais limitações desta fase devem-se à pouca receptividade por parte dos funcionários nas alterações das suas rotinas de trabalho, ao desenvolvimento de sistemas complexos, sendo crucial a criação de sistemas simples e por passos e por fim, a pouca insistência na comunicação. É necessário usar todos os tipos de comunicação possíveis na organização para que a informação chegue a todos os envolvidos no sistema e para reforçar a sua compreensão e importância.

2.1.3. Verificação

A etapa da verificação consiste na monitorização e medição de processos e características principais de cada operação, para perceber se tudo o que foi realizado até agora está de acordo com os planos inicialmente estabelecidos, relatando por fim os resultados obtidos. Devem ser recolhidos e avaliados novos dados energéticos e caso os objetivos ou compromissos não estejam a ser cumpridos, o plano de ação deverá ser

alterado. Deverão ser ainda realizadas auditorias internas, fulcrais para avaliar o desempenho energético e a eficácia do SGE.

Na fase de verificação deve-se (Ecenter.ee.doe.gov, 2015):

- Medir, monitorizar e analisar indicadores de desempenho, fazer uma comparação dos resultados com os valores estimados do plano de ação. Tentar responder a questões como: As etapas do projeto estão a ser cumpridas? Será o método de recolha de dados utilizado o que melhor se adequa? Estamos a recolher todos os dados e a calcular todos os índices que necessitamos? Haverá algum processo a impedir a evolução de outros? A formação dos funcionários foi suficiente?
- Responder aos desvios de desempenho energético definidos pela organização. Quando estes se mostram significativos, a organização terá de investigar, encontrar explicações e registar os resultados;
- Avaliar a conformidade com os requisitos legais, garantindo o seu cumprimento. Caso essa conformidade não seja verificada, deverão ser tomadas medidas de ação corretivas;
- Planear e realizar auditorias internas ao próprio sistema de gestão de energia, onde se deve recolher e analisar aspetos que permitam perceber se as suas exigências estão a ser cumpridas. Este é um processo independente que deve ser documentado;
- Aplicar medidas para corrigir não-conformidades existentes ou prevenir não-conformidades potenciais.

As principais dificuldades desta etapa devem-se à falta de supervisão do processo, pouca monitorização e atrasos na implementação das ações corretivas.

2.1.4. Ação/Revisão para a melhoria contínua

Enquanto na fase da verificação é feita uma análise crítica aos pormenores técnicos do sistema, na fase de revisão, esta análise é realizada olhando globalmente para o sistema. Deve-se perceber se o sistema está a funcionar corretamente e o que deve ser alterado de forma a melhorá-lo. A administração é a responsável por tomar as decisões relativamente às alterações necessárias durante a revisão da gestão. É ainda relevante, que os funcionários sejam continuamente informados acerca dos sucessos alcançados, como forma de incentivo à sua participação no SGE. Desta forma torna-se necessário (Ecenter.ee.doe.gov, 2015):

- Reunir com a administração para rever o progresso do processo e avaliar os seus resultados e desempenho;
- Após a avaliação, a equipa de gestão de energia deverá retornar à fase de planeamento, avaliar as oportunidades de melhoria e selecionar novas medidas de melhoria;
- Reconhecer o sucesso e comunicar os resultados, permitindo que toda a organização tenha conhecimento dos progressos e sucessos do sistema.

Nem sempre a revisão para a melhoria contínua é eficaz devido sobretudo à baixa frequência de reuniões entre a equipa de gestão de energia e a administração.

2.2. Indicadores de Desempenho Energético

Pela análise dos estudos de Gallachóir *et al* (2007) e de Gul & Patidar (2015), dois dos fatores chave, nos edifícios escolares são: o número de estudantes e a área do edifício académico. Yu, *et al* (2011), define de uma forma geral, que os principais fatores determinantes no uso de energia são:

- Clima (temperatura exterior e exposição solar);
- Características físicas do edifício (área, isolamento, orientação);
- Ocupação do edifício;
- Sistemas do edifício (aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas);
- Comportamento dos utilizadores;
- Fatores sociais e económicos;
- Qualidade de ar interior necessária;

De referir que, vários estudos (Masoso & Grobler, 2010; Staats, et al., 2000; Lourenço, Pinheiro & Heitor, 2014) revelam que o estudo do comportamento do utilizador é fundamental para a melhoria do desempenho energético, o que permite concluir que intervenções de consciencialização aos utilizadores poderão ser medidas fundamentais à redução de consumo, com a vantagem de terem um custo associado muito baixo ou até mesmo nulo. No entanto, o estudo comportamental é dificultado pelo grande número de variáveis associadas ao comportamento do utilizador e conseqüentemente, ao seu impacto no consumo de energia. Assim, segundo Lourenço, Pinheiro & Heitor (2014), este problema só pode ser contornado a partir de dois tipos de análise: análise quantitativa,

relacionada com a questão em como os utilizadores executam a ação e a análise qualitativa, preocupada em perceber a razão pela qual, um determinado comportamento foi realizado.

Com base no estudo de Wang et al. (2012), enquanto o desempenho energético é um termo utilizado referente à qualidade de um edifício no que diz respeito ao seu consumo de energia, um indicador de performance energética é uma medida quantificável utilizada para avaliar esse mesmo desempenho. O mesmo estudo revela ainda que o indicador mais utilizado para avaliar a performance energética de um edifício é o consumo específico de energia por unidade de área (kWh/m²).

Para uma melhor análise, outros indicadores podem e devem ser criados para melhor compreender o desempenho energético e mais facilmente detetar deficiências na gestão de energia. No entanto, este método só se revela pertinente se usado como base de comparação relativamente a uma linha de base definida dentro da própria organização, ou ainda, relativamente a indicadores de referência de acordo com a tipologia do edifício, tornando-se uma ferramenta indispensável à aplicação do conceito de *Benchmarking*. Um outro facto importante a reter é que, para a criação de indicadores fidedignos é indispensável a recolha de dados, no entanto, a disponibilidade destes é uma problemática presente nos edifícios já existentes (Wang et al., 2012).

Os indicadores de desempenho energético relacionam assim o consumo de energia apresentado em termos de energia final, em quiloWatt-hora (kWh), ou convertida para uma base primária, em quilograma equivalente de petróleo (kgep), com as diversas variáveis a ele associadas como, área útil do espaço em estudo (m²) ou número de ocupantes do edifício durante o período de tempo definido, que geralmente corresponde a um ano civil.

Por fim, de acordo com a informação retida em vários estudos (Lourenço et al., 2014; Dascalaki & Sermpetzoglou, 2011; Wang et al., 2012; Pereira et al., 2014) conclui-se que os principais indicadores de performance energética utilizados na literatura são os apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Indicadores de desempenho energético

Indicadores	Cálculo	Unidades
Consumo Específico de Energia por unidade de área	Quociente entre consumo anual de uma dada energia e a área útil de pavimento associada	kWh/m ² .ano kgep/m ² .ano
Consumo Específico de Energia por utilizador e por ano	Quociente entre o consumo anual de uma dada energia pelo número de utilizadores do edifício ou instalação	kWh/(utilizador.ano) kgep/(utilizador.ano)
Emissões de CO₂ por utilizador e por ano	Quociente entre as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo energético e o número de utilizadores do edifício	kgCO ₂ /(utilizador.ano)

3. CASO DE ESTUDO

A aplicação do sistema de gestão de energia ao caso de estudo, terá como base alguns dos métodos e requisitos da ISO 50001 (2011), descritos no capítulo 2 desta dissertação.

3.1. Breve Caracterização do Caso de Estudo

O sistema de gestão de energia será aplicado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra (DEM). O DEM é um edifício implantado no Pólo II da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra e tem como finalidade, o ensino e a investigação. A sua construção iniciou-se em 1994, numa primeira fase, e foi terminada em 1995, possui uma área útil de pavimento de 7347 m² e uma área total de pavimento de 8478 m². O edifício enquadra-se no setor dos serviços e pertence à região climática de inverno II e verão V2-norte e é classificado com 1460 graus-dia de aquecimento (Hauer, 2012).

O DEM está repartido por 4 pisos e é constituído por duas salas de funcionários, onze instalações sanitárias, um auditório, dois anfiteatros, doze salas de aula, uma sala destinada ao núcleo de estudantes, quatro salas de reuniões, quatro salas de informática, dois espaços destinados a arquivos, um espaço destinado à secretaria, um espaço destinado à contabilidade, uma reprografia, uma receção, vinte e um espaços laboratoriais, cinquenta e três gabinetes, um espaço destinado à comissão executiva, outro destinado à comissão executiva e outro à comissão pedagógica, uma cozinha, um bar, uma biblioteca espaços destinados às unidades de tratamento de ar, quatro salas de informática, uma sala de bombas hidráulicas, uma oficina, um espaço técnico de circuito de água, zona de secretariado, uma sala destinada à microssonda eletrónica, um espaço destinado a caldeiras e salas de arrumos. O departamento possui ainda espaços destinados a estacionamento e armazéns, com uma área de, respetivamente, 576 m² e 233 m².

3.2. Responsabilidades da Gestão

Em primeiro lugar, o conhecimento, integração e apoio por parte dos órgãos de gestão do departamento, nomeadamente do Diretor do departamento e os elementos constituintes da Direção do DEM, é um elemento essencial para a aprovação e sucesso do sistema. O envolvimento dos órgãos de gestão passa pela redação de uma carta de comprometimento, ou de política energética, onde estes assumem o conhecimento da aplicação do sistema e se comprometem a disponibilizar os recursos necessários à sua implementação e melhoria contínua. No APÊNDICE A apresenta-se um exemplo de carta de comprometimento/ Política Energética aplicada ao DEM que deverá ser afixada em locais de grande visibilidade. Os órgãos de gestão deverão escolher e definir um coordenador de energia que tenha como principais funções e competências as mencionadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Funções e competências do gestor de energia

Funções	Competências
Gerir e liderar a equipa de energia.	Facilidade de comunicação e espírito de liderança.
Garantir a implementação e continuidade do sistema.	Competências organizacionais.
Comunicação sobre o estado do sistema e trabalho juntamente com os órgãos de gestão de forma a planear e executar os projetos definidos.	Capacidade de resolução de problemas e facilidade de comunicação.
Participar nas tarefas definidas no plano de ação e garantir o cumprimento das mesmas, assim como assegurar a correta medição e monitorização dos dados energéticos.	Boa capacidade de relacionamento e comunicação com os colegas assim como ser respeitado pelos mesmos.
Comunicar a todos os utilizadores do departamento, desde alunos, a funcionários e professores, os progressos e resultados do sistema, assim como a importância do seu comportamento para o sucesso do mesmo.	Capacidade de relacionamento e adaptação a diferentes pessoas e contextos.
Participar e agendar reuniões tanto com os órgãos de gestão como com os restantes elementos da equipa de energia.	Disponibilidade total.

Se se achar necessário deverá ser definida uma equipa de gestão de energia, à qual pertence e é liderada pelo coordenador de energia mencionado anteriormente. Os constituintes da equipa de energia deverão ser pessoas ligadas à manutenção do departamento e que possam assumir responsabilidades ligadas à monitorização, gestão e análise dos consumos de energia globais e de equipamentos que se demonstrem grandes consumidores energéticos. Deverão ainda ser definidas reuniões periódicas entre os membros da equipa de forma a avaliar o estado do sistema de gestão, com vista a encontrar de forma contínua oportunidades de melhoria.

3.3. Obrigações Legais

Segundo a norma ISO 50001 (2011), o primeiro passo da fase de planeamento consiste no enquadramento do edifício em estudo relativamente aos requisitos legais a que este está sujeito. Desta forma, entenda-se que o edifício do DEM possui uma área útil acima de 1000 m² e, por isso, segundo o artigo 27º do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE, 2006) deverá possuir um certificado energético, obtido a partir da realização de auditorias periódicas. O mesmo regulamento refere ainda que as auditorias realizadas no âmbito energético deverão fazer uma quantificação global dos consumos de seis em seis anos.

O RSECE é um documento publicado no Decreto-lei 79/2006 que visa definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços com sistemas de climatização, impondo a realização de auditorias energéticas. O RSECE estipula ainda, valores limite de consumo global específico de energia em período nominal de funcionamento, no caso da tipologia de estabelecimentos de ensino este valor é de 15 kgep/m².ano. Caso o valor seja ultrapassado deverá ser realizado um Plano de Racionalização de Energia (PRE) que permita reduzir o consumo até, pelo menos, o valor máximo legalmente estabelecido. Desta forma, torna-se obrigatória a implementação das medidas referidas no PRE que apesentem um período de retorno simples até 8 anos. Neste âmbito, foi realizada uma auditoria energética ao edifício em 2012 e uma simulação energética em período real e nominal de funcionamento, de forma a calcular o Indicador de Eficiência Energética (IEE) nominal, compará-lo com o IEE de referência estipulado pelo RSECE e determinar a classe energética do edifício.

3.4. Documentação

Novamente de acordo com a ISO 50001 (2011) é obrigatório que toda a informação sobre o sistema de gestão de energia seja documentada e armazenada em suporte papel e/ou eletrónico. A documentação em suporte de papel deverá ser armazenada num arquivo específico para o SGE, devidamente organizado e separado de acordo com os seguintes elementos:

- Política energética do DEM e respetiva carta de compromisso;
- Faturas energéticas;
- Relatórios de Análise de Consumos;
- Histórico de consumos e indicadores de desempenho;
- Objetivos e planos de ação;
- Relatórios da fase de verificação de resultados;
- Outros documentos considerados como necessários.

Caso as faturas não possam estar permanentemente na posse do gestor de energia, a pessoa responsável pela recolha das mesmas, deverá tirar cópias ou digitalizá-las, de modo a que a informação se mantenha sempre disponível e atualizada. O acesso aos dados foi uma das grandes dificuldades e falhas identificadas ao longo de todo o trabalho realizado no âmbito desta dissertação, uma vez que se verificou a indisponibilidade quase total das faturas energéticas, criando um enorme entrave na análise dos consumos de energia.

As informações armazenadas em suporte eletrónico deverão também estar numa pasta destinada exclusivamente ao SGE, devidamente organizada e guardada no computador destinado ao gestor de energia. Nesta pasta deverão encontrar-se os dados referentes à telecontagem dos consumos elétricos do DEM devidamente atualizados e organizados, eventuais faturas eletrónicas ou faturas digitalizadas, assim como as folhas de cálculo usadas na análise dos consumos energéticos.

3.5. Análise de Consumos Energéticos

O primeiro passo na análise dos consumos energéticos remete à identificação dos tipos de energia consumidos no edifício, assim como, a descrição e análise dos

sistemas consumidores de cada tipo de energia. De seguida, devem ser monitorizados, registados e avaliados periodicamente os consumos pelo gestor de energia definido, ou pelo membro da equipa de energia a quem foram atribuídas estas funções.

Desta forma, o DEM utiliza dois tipos de energia, energia elétrica e gás natural. O primeiro tipo de energia é usado nos equipamentos, nas unidades de tratamento de ar, ventiladores, unidades do tipo *split*, sistemas de iluminação e ainda no grupo produtor de água refrigerada (*chillers*). No que diz respeito ao gás natural, este é utilizado no sistema de aquecimento central, em equipamentos de confeção na cozinha e ainda em instalações experimentais de laboratório.

A produção de águas quentes sanitárias é obtida por um termoacumulador elétrico e por um esquentador a gás natural, sendo que o primeiro se encontra na sala de funcionários e o segundo na cozinha. A Tabela 3.2 apresenta as principais características de ambos os equipamentos, obtidas no relatório da auditoria (Hauer,2012).

Tabela 3.2 Características dos sistemas produtores de água quente sanitária

	Potência [kW]	Tipo Energia	Eficiência [%]	Horas funcionamento [h/dia]
Termoacumulador	1,5	Elétrica	70	0,17
Esquentador	7	Gás Natural	86,8	4

O sistema de climatização associado às necessidades de arrefecimento é assegurado pelo funcionamento de uma unidade de refrigeração do tipo *chiller* e unidades do tipo *split*, a eletricidade, o sistema de climatização associado às necessidades de aquecimento é alimentado por duas caldeiras de ferro fundido a gás natural. Novamente, a partir do relatório da auditoria, são apresentadas na Tabela 3.3 as principais características de cada um dos equipamentos.

Tabela 3.3 Características dos equipamentos de climatização

Caldeira	Marca / Modelo	Pot. Cal. [kW]	Rendimento [%]	
	ROCA / NTD-300	348,8	88,6	
Chiller	Marca / Modelo	Pot. Elet. [kW]	Pot. Arr. [kW]	EER
	Carrier / 30GY_025	69,2	32,3	0,47

A monitorização dos consumos de gás deverá ser realizada periodicamente com recurso ao contador principal do edifício, duas vezes por semana, em períodos normais de funcionamento sendo que a primeira na segunda-feira logo após a abertura do

edifício (8:00 horas) e a segunda na sexta-feira, após o fecho do edifício (entre as 19:00 e as 20:00h). Em períodos que se considere relevante, devem ser realizadas monitorizações diárias, igualmente no início e no final do dia. Os dados poderão ser registados em suporte papel como o exemplo utilizado nesta dissertação e apresentado no APÊNDICE C, sendo estes posteriormente registados em suporte informático que permita a posterior análise dos dados retirados, como por exemplo no *Microsoft office Excel*. Os órgãos de gestão do DEM deverão definir a pessoa responsável pela monitorização dos consumos, incluindo-a na equipa de gestão de energia.

Relativamente à monitorização dos consumos de eletricidade, já é realizado um levantamento horário dos consumos pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Uma vez que estes não são encaminhados para o DEM, deverão ser solicitados os dados periodicamente, devendo este intervalo de tempo ser estipulado entre o gestor de energia e o responsável pela telecontagem do DEM.

A análise de consumos de energia deverá ter como base a construção de gráficos semelhantes aos apresentados nesta dissertação, tendo em conta os indicadores também definidos neste trabalho.

3.5.1. Consumos mensais e anuais de gás natural e eletricidade

Primeiramente foram obtidos e analisados os consumos anuais do edifício desagregados por tipo de energia. Devido à dificuldade de acesso às faturas energéticas, apenas foram conseguidos faturas mensais de gás natural relativas ao ano de 2012 e 2013 e dados de consumos médios mensais de gás natural e eletricidade entre 2009 e 2011.

É importante a análise sobre a variação anual dos consumos de energia do edifício, já que permite identificar os seus padrões do consumo, o seu desempenho energético ao longo dos anos e ainda a sua variação após a implementação de algumas medidas de melhoria.

3.5.1.1. Gás natural

Na Figura 3.1 e Figura 3.2 apresentam-se, respetivamente, a variação do consumo e do custo de gás natural, sendo que, no que diz respeito aos consumos é apresentado adicionalmente a média de 2009 a 2011 e nos custos apenas os obtidos nas faturas disponibilizadas, relativos aos anos de 2012 e 2013. Apresenta-se ainda na Tabela 3.4 os valores relativos aos consumos mensais e aos consumos médios diários estimados,

relativos a cada mês do ano e que podem ser considerados como valores de referência para posteriores análises de consumo.

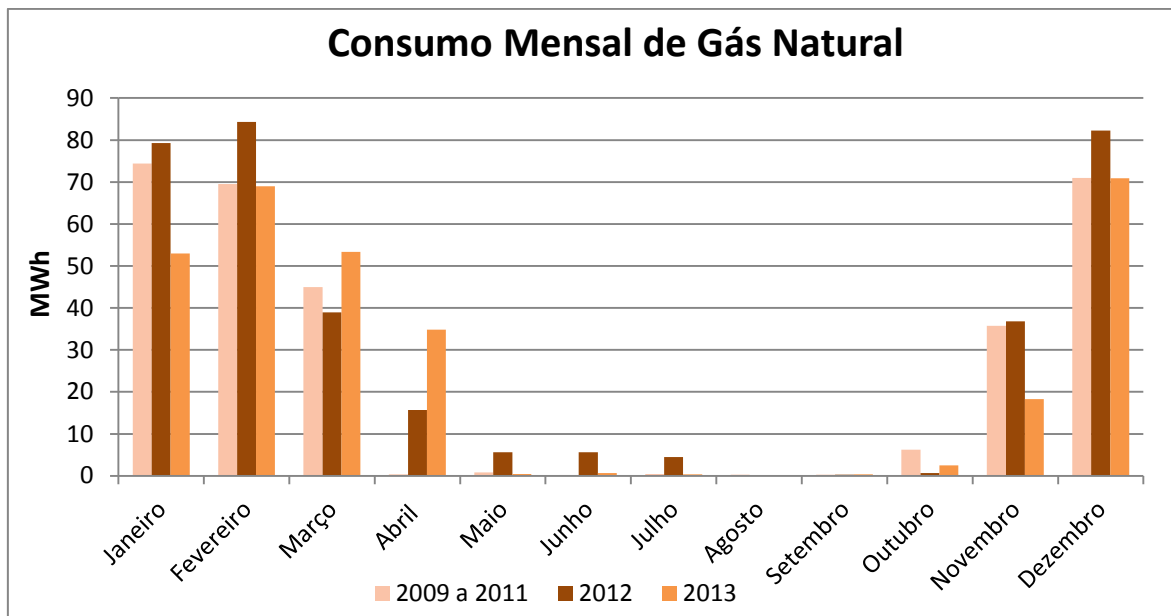


Figura 3.1 Variação de consumos de gás natural

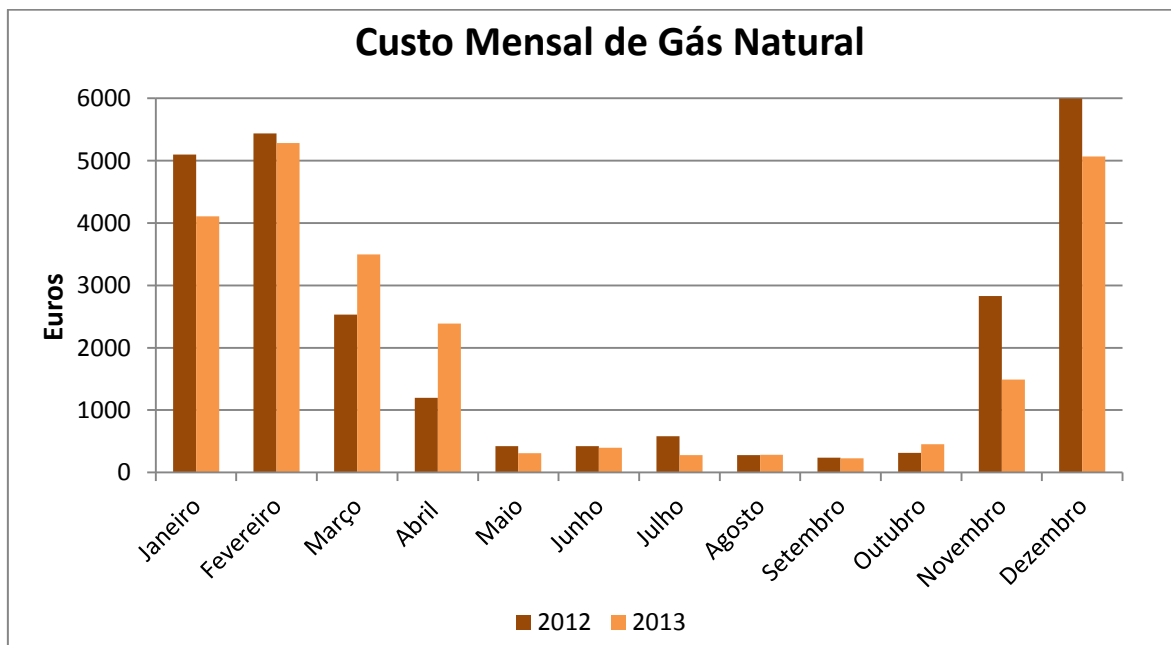


Figura 3.2 Variação do custo de gás natural de 2012 e 2013

Tabela 3.4 Consumos mensais totais e médios diários de gás natural

	Consumo Mensal [kWh/mês]			Consumo Médio Diário [kWh/dia]	Consumo Médio Diário [m ³ /dia]	Consumo Médio Anual [kWh/ano]
	2009 a 2011	2012	2013			
Janeiro	74387	79263	53001	2447,02	227,57	320702,57
Fevereiro	69547	84349	68967	2590,19	240,89	
Março	45005	38945	53395	1503,73	139,85	
Abril	340	15670	34839	591,78	55,04	
Mai	779	5625	452	41,79	3,89	
Junho	226	5625	647	38,55	3,59	
Julho	447	4512	346	60,51	5,63	
Agosto	245	97	115	4,87	0,45	
Setembro	284	267	337	11,40	1,06	
Outubro	6204	635	2497	98,76	9,18	
Novembro	35732	36823	18301	990,95	92,16	
Dezembro	71000	82286	70916	2358,13	219,31	
TOTAL	304198	354097	303813			

Com as figuras apresentadas anteriormente, é possível analisar o padrão de consumos do edifício e identificar os períodos do ano com maior consumo de gás natural. Este tipo de representações permite ainda identificar exceções nas tendências que deverão ser analisadas em pormenor, identificando as variáveis associadas. As representações gráficas com o custo associado ao consumo, permitem também identificar as alturas do ano com maior gasto económico com a energia e pode ainda permitir identificar grandes variações na tarifa do gás natural. Desta forma, analisando detalhadamente a Figura 3.1, percebe-se em primeiro lugar que a principal variável associada ao consumo de gás natural é a variação da temperatura, verificando-se que relativamente aos valores médios mensais de 2009 a 2011, obtemos um consumo máximo de 74387 kWh em janeiro e um consumo mínimo de 226 kWh em junho, embora muito próximo do valor obtido para o mês de agosto, correspondendo a respetivamente, 24,5 e 0,07 % do consumo anual. Observando a variação mensal no ano de 2012, obtemos um valor máximo em fevereiro de 84349 kWh e um consumo mínimo em agosto de 97 kWh, respetivamente de 23,82 e 0,03 % do consumo anual. Por fim, em 2013, o maior consumo de gás natural foi em dezembro com 70916 kWh (23,34%) e o menor consumo foi relativo ao mês de agosto, onde se consumiram 115 kWh (0,04%).

De um modo geral, o maior consumo de gás natural é maioritariamente associado aos meses de inverno, onde há a necessidade de aquecimento do edifício,

representando em média cerca de 92 % do consumo total anual de gás natural. No que diz respeito ao período de abril a outubro, o consumo é significativamente reduzido comparativamente aos outros meses, sendo este proveniente dos restantes equipamentos a gás existentes, não destinados ao aquecimento centralizado do edifício. O mês de abril e outubro poderão ser considerados meses de transição entre o funcionamento e não funcionamento da caldeira. O consumo no período referido anteriormente (7 meses) representa em média 8 % do consumo total anual, verificando-se que esta percentagem tem vindo a aumentar consideravelmente desde 2011 a 2013 (2,8 % entre 2009 e 2011, 9,16 % em 2012 e 12,9 % em 2013). O menor consumo de gás natural é associado ao mês de agosto devido ao encerramento praticamente total do edifício.

Fazendo a comparação entre o ano de 2012 e 2013, nota-se, de forma geral, que houve um decréscimo de consumo de gás natural em 2013. No entanto, destaca-se uma inversão da tendência nos meses de março e abril, que pode ser justificada por um aumento atípico de temperatura para estes dois meses em 2012, nomeadamente, foram atingidas temperaturas de 28°C em finais de março e no início de abril, quando as temperaturas máximas normais climatológicas para este período se situam abaixo dos 20°C.

As conclusões retiradas a partir da análise do gráfico representativo da variação do custo de gás natural (Figura 3.2) são análogas às retiradas ao do consumo. Desta forma, em 2012 houve um gasto total de 25342 €, com um máximo para o mês de dezembro de 5998 € e um mínimo em agosto de 276 €. Em 2013 gastou-se em gás natural um total de 23781 euros, cujo máximo foi atingido em fevereiro com 5283 € e o mínimo de 229 € atingido em setembro.

3.5.1.2. Energia elétrica

À semelhança do consumo de gás natural deve ser realizada uma análise aos consumos mensais de eletricidade. Uma análise comparativa com anos anteriores permitiria comparar os diversos consumos, perceber se há um padrão anual dos consumos e assim mais facilmente identificar as variáveis associadas a estas variações.

Assim, apresenta-se graficamente na Figura 3.3, os valores médios do consumo de energia elétrica referentes ao período de 2009 a 2011 obtidos novamente no relatório da auditoria (Hauer, 2012).

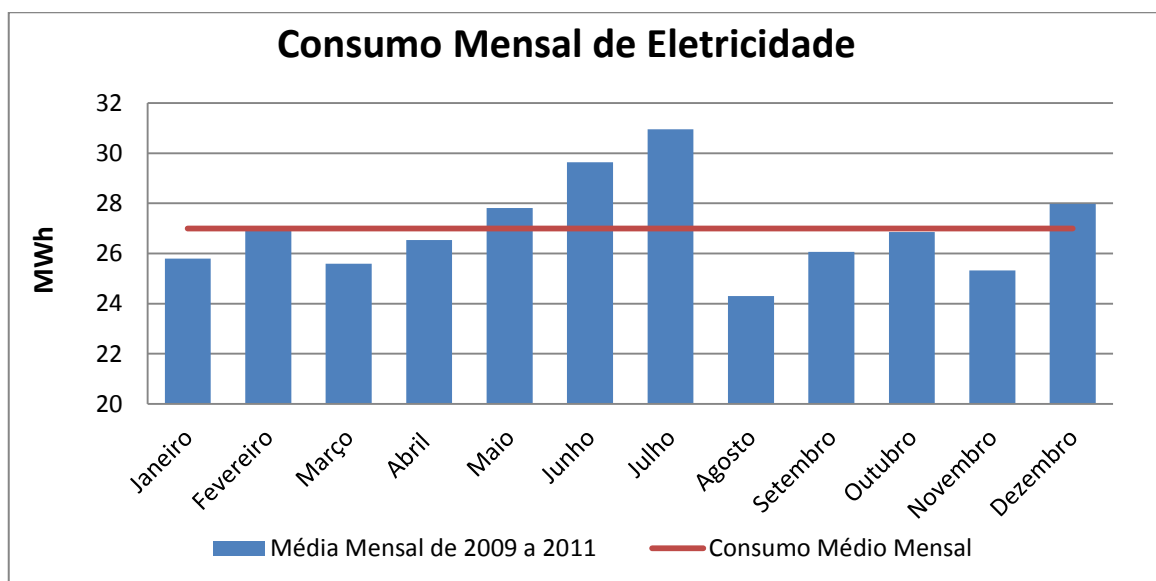


Figura 3.3 Consumo mensal de eletricidade

De acordo com a Figura 3.3, nota-se que o consumo de eletricidade sofre algumas variações sazonais, com uma variação máxima em relação ao consumo médio mensal de cerca de 12 %. Percebe-se que o maior consumo de eletricidade é relativo ao mês de julho e junho, onde se atingem consumos de 29635 kWh e 30948 kWh, respetivamente (que correspondem a 9,15 % e 9,55 % do consumo anual). Novamente verifica-se uma menor utilização de energia no mês de agosto, devido ao encerramento das instalações, sendo este mês responsável por 7,5 % do consumo médio total anual do período em análise. Desde já se verifica apenas uma diferença máxima de cerca de 2% e uma diferença mínima de 0.31 % entre o consumo em período normal de funcionamento e em período de férias. Esta diferença é manifestamente pequena, tendo em conta que se trata de um período de pausa letiva, a diferença de consumo deveria ser significativamente maior.

Por fim, o consumo total médio anual de eletricidade é de 323891 kWh, sendo o consumo médio diário de 887 kWh. Uma vez que não foi possível ter acesso às faturas de eletricidade, não foi possível identificar o custo associado à eletricidade. Segundo o estudo aplicado ao DEM (Silva, 2011), a tarifa aplicada ao edifício em 2010 foi de 0,103 €/kWh, obtém-se assim, um custo total anual médio de 33370,7 €/ano.

Desta forma, na Figura 3.4 apresenta-se a distribuição do consumo total por tipo de energia consumido no DEM, para o período de 2009 a 2011, uma vez que é o único período com ambos os dados de gás natural e eletricidade.

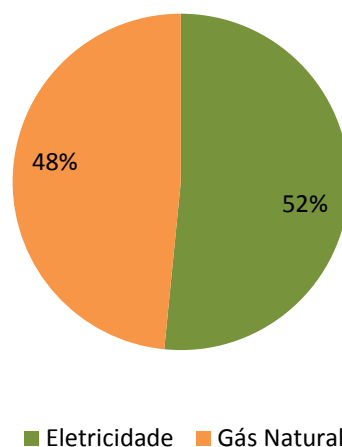


Figura 3.4 Distribuição do consumo médio por tipo de energia entre 2009 e 2011

Assim, conclui-se que o tipo de energia mais consumido no DEM é a eletricidade com uma percentagem média de 52 %.

3.5.2. Consumos monitorizados de gás natural e eletricidade

Para uma análise mais pormenorizada relativamente aos consumos de energia, foram realizadas medições diárias ao contador de gás existente no edifício, duas vezes por dia, no período de 2 de março a 16 de março de 2015, às 9h e às 19h. Esta monitorização pode ser observada na Tabela 3.5 e na Figura 3.5. A tabela apresentada poderá ser usada como exemplo de futuras monitorizações de consumo de gás natural do edifício.

Tabela 3.5 Registo de consumos diários de gás natural

Dia	Contagem no início do dia		Contagem no final do dia		Consumo [19h-9h] [m ³]	Consumo [9h-19h] [m ³]	Consumo Diário Total [m ³]
	Contagem [m ³]	Hora	Contagem [m ³]	Hora			
2	-	-	96221,68	19h13			
3	96277,87	9h00	96409,13	19h08	56,19	131,26	187,45
4	96465,13	8h30	96500,2	18h50	56	35,07	91,07
5	96557,04	8h53	96622,74	19h15	56,84	65,7	122,54
6	96694,08	9h00	96782,41	19h08	71,34	88,33	159,67
9	96824,07	8h37	96869,14	19h45	41,66	45,07	86,73
10	96938,21	9h00	96961,12	19h20	69,07	22,91	91,98
11	97029,66	9h00	97056,74	18h55	68,54	27,08	95,62
12	97119,01	9h00	97147,92	19h10	62,27	28,91	91,18
13	97219,16	9h00	97242,25	19h18	71,24	23,09	94,33
16	97289,18	8h16	97338,52	18h49	46,93	49,34	96,27

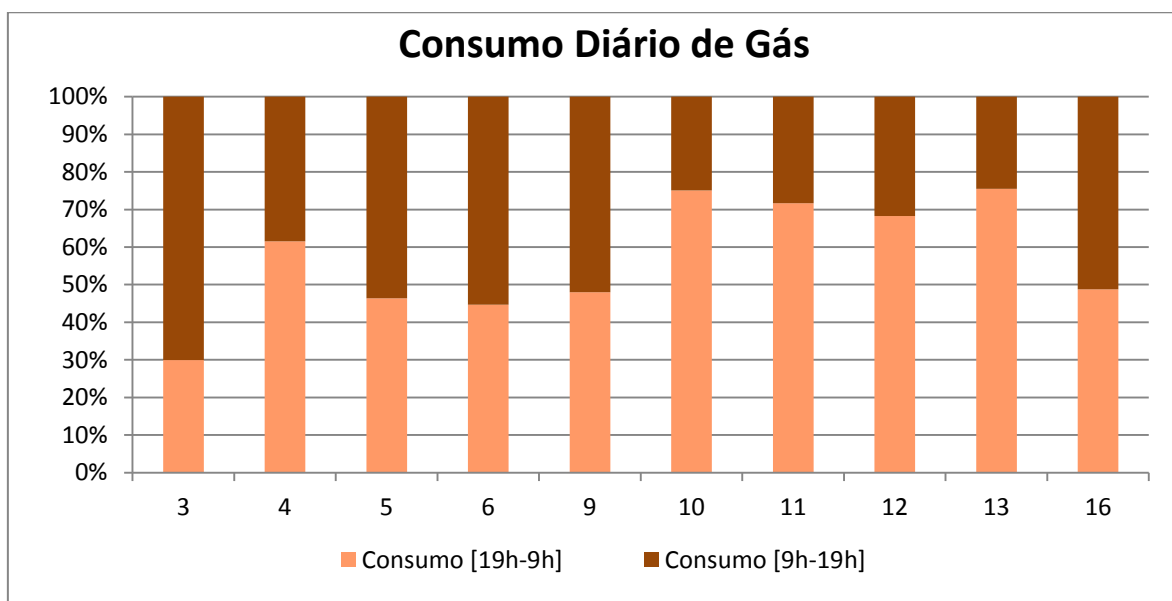


Figura 3.5 Distribuição do consumo de gás pelo período noturno e diurno

A monitorização diária dos consumos permite identificar ao pormenor as variações diárias na utilização do gás natural. Representações gráficas como a apresentada na Figura 3.5 dão a informação de qual o período do dia com maior percentagem de consumo, permitindo mais facilmente, a identificação das causas desse consumo.

A medição teve início no dia 2 de março às 19 horas e final no dia 16 de março às 19h. Nesta distribuição podemos observar que os consumos em período noturno representam na generalidade mais de 50% do consumo total diário. Atendendo que o peso maior do consumo deste tipo de energia é derivado ao funcionamento da caldeira e que este equipamento é desligado antes das 17:30 horas e ligado novamente por volta das 8 horas, podemos observar que é no arranque do equipamento pela manhã que se verifica um pico muito elevado de consumo. Este fato pode ter origem no grande decréscimo de temperatura da água existente na caldeira durante a noite, uma vez que esta se encontra numa zona muito desprotegida, obrigado assim a um maior consumo para obter novamente a temperatura de funcionamento desejada. Consegue-se assim antever um potencial de melhoria neste sistema, devendo este ser testado em duas vertentes:

- Períodos de funcionamento da caldeira;
- Isolamento da zona da caldeira;

Foi ainda feito um levantamento do número de alunos presentes no edifício no mesmo período de tempo, recorrendo à consulta de 243 folhas de presença das disciplinas

leccionadas no departamento, com o intuito de procurar uma relação entre a ocupação do edifício e os consumos energéticos, que será apresentada na figura seguinte.

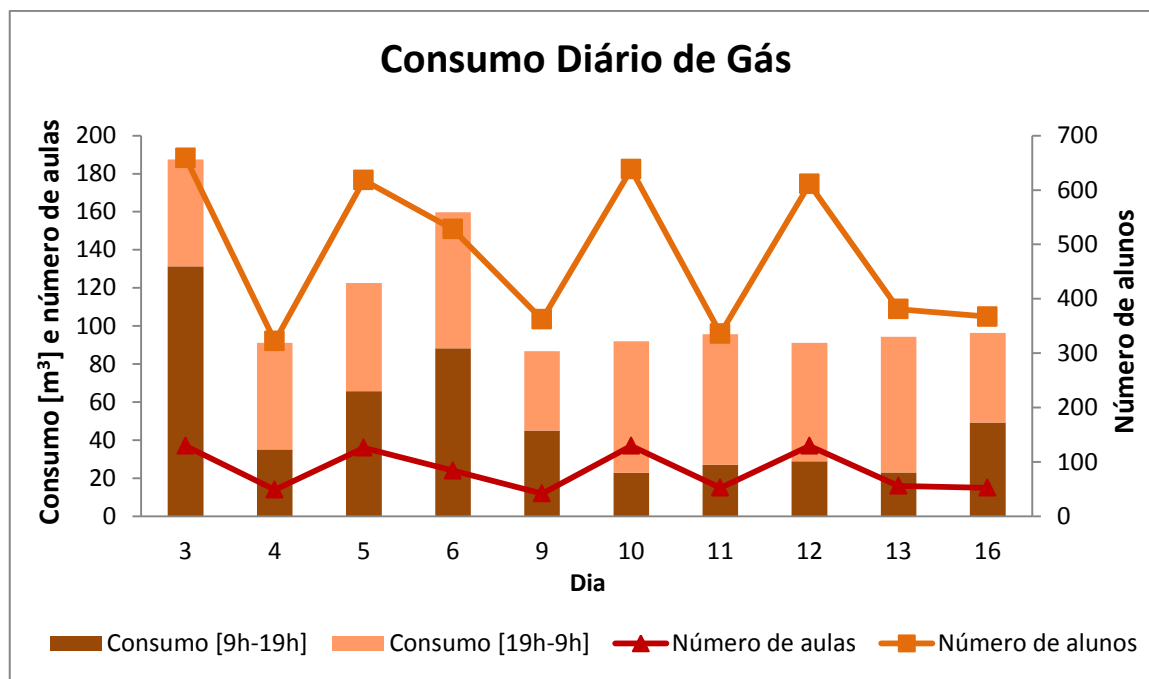


Figura 3.6 Variação do consumo diário de gás natural com a ocupação do edifício

Estudando a Figura 3.6, conclui-se que a variação do número de alunos presentes no edifício é proporcional ao número de aulas realizadas, pelo que a análise pode ser simplificada, usando apenas como variável o número de aulas lecionadas. Ainda assim, a análise permitiu perceber que não existe uma relação direta entre o consumo de gás natural e a ocupação do edifício, tal como previsto.

Uma vez que o consumo de gás natural é essencialmente para fins de climatização, tornou-se pertinente analisar a variação deste com a temperatura exterior que será apresentada nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9. Os dados relativos às temperaturas foram obtidos em Accuweather.com (2015). Esta análise permitir verificar se há uma relação entre a temperatura e o consumo diário de gás natural, procurando analisar separadamente o consumo em período diurno, o consumo em período noturno e ainda, o consumo diário.

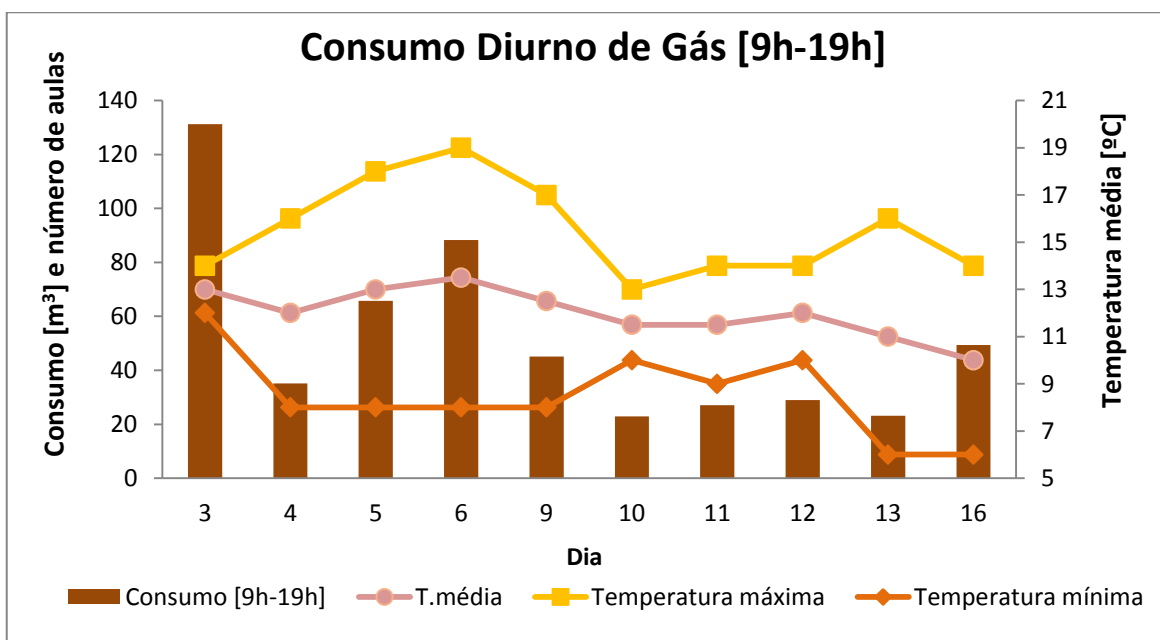


Figura 3.7 Relação entre o consumo de gás das 9h às 19h e a temperatura

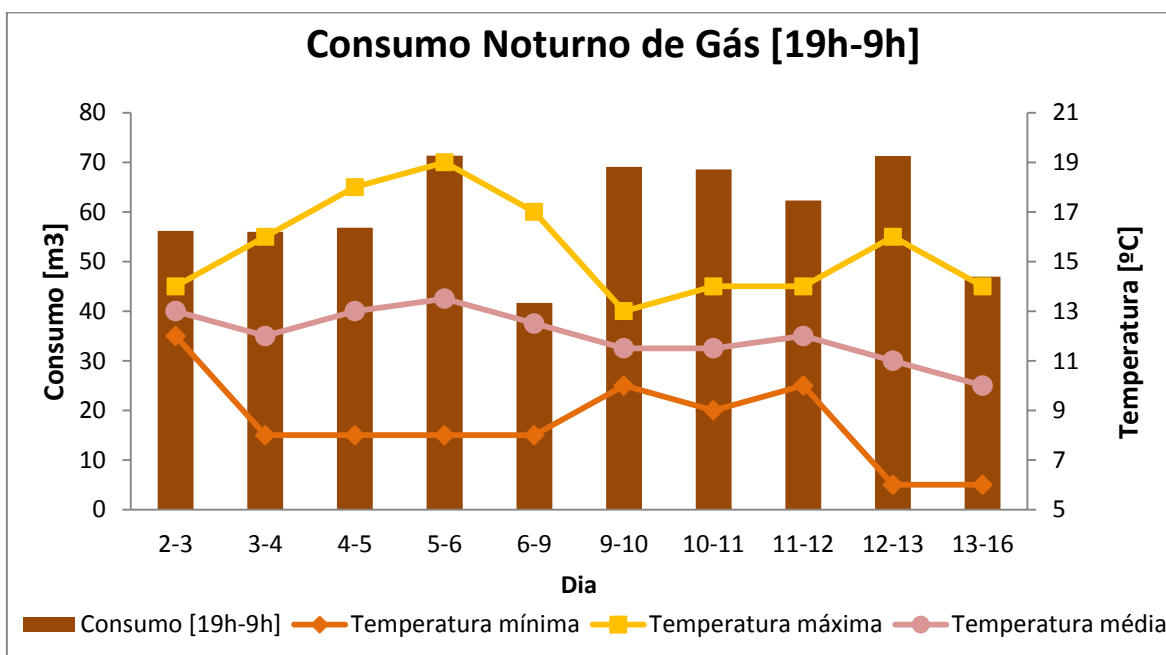


Figura 3.8 Relação entre o consumo de gás das 19h às 9h e a temperatura

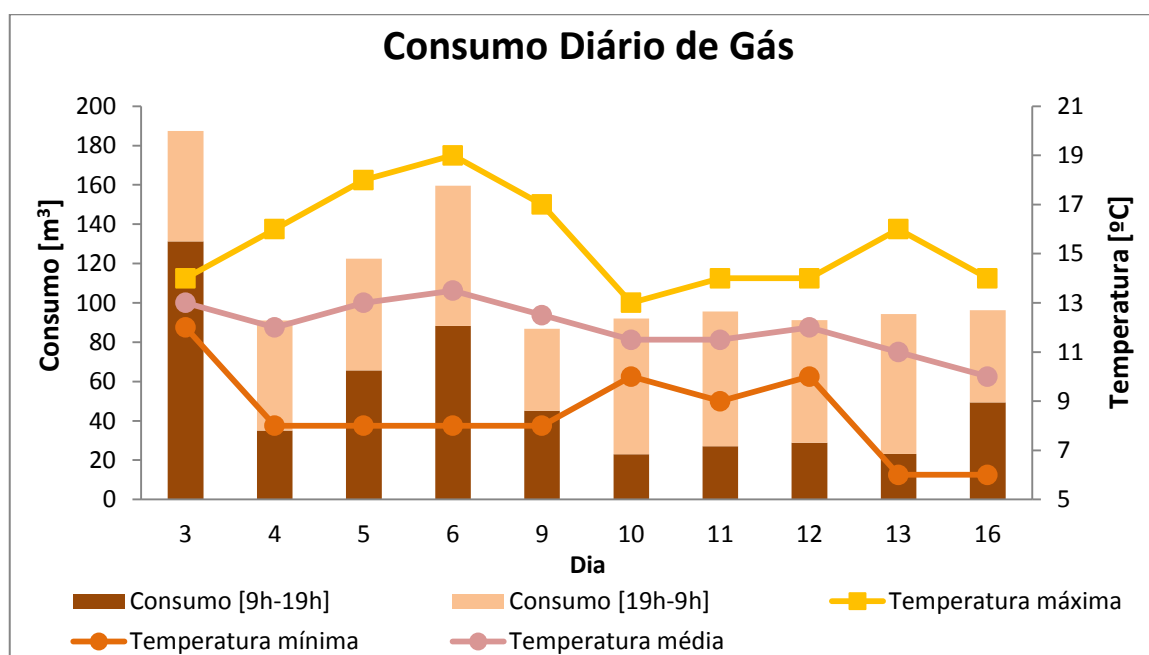


Figura 3.9 Variação do consumo diário de gás com a temperatura

Com base nas figuras apresentadas anteriormente e na Tabela 3.6, verifica-se que o consumo de gás natural entre as 9 horas e as 19 horas varia entre 23 m³ a 130 m³ e o consumo entre as 19 horas e as 9 horas do dia seguinte, varia entre 41 m³ e 71 m³. Verifica-se também que o consumo total diário varia entre os 187 m³ e os 87 m³.

Pode-se observar também, ainda que na análise mensal dos consumos se verifique claramente uma relação entre as variações de temperatura e os consumos de gás natural, que na análise diária, essa relação não é visível. Esta conclusão pode ser retirada uma vez que, considerando que quando a temperatura diminui, as necessidades de aquecimento aumentam e portanto o consumo de gás natural também, este fato não é verificado nos dados apresentados acima, em que os dias mais frios não estão associados aos dias de maior consumo. Torna-se assim pertinente, perceber quais as causas de algumas destas variações tão significativas e encontrar soluções para que o consumo se mantenha o mais baixo possível. É importante perceber qual o critério pelo qual o funcionário se rege para desligar a caldeira, assim como, definir uma estratégia para controlar o horário funcionamento da mesma de forma mais eficiente.

Relativamente à eletricidade, não se recorreu à leitura do contador uma vez que existe uma monitorização horária deste consumo realizada pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, no entanto, apenas foram facultados os dados referentes ao período de 1 de Janeiro a 11 de Março de 2015. Assim, foi também

analisado com maior pormenor os dados diários disponíveis, utilizando novamente as considerações referidas anteriormente, nomeadamente, a utilização do número de aulas como variável associada à ocupação do edifício. De referir que o número de aulas diárias se considera constante para o período de 9 de fevereiro de 2015 a 11 de março de 2015, sendo o intervalo de 1 de janeiro a 9 de fevereiro considerado período de época de exames com condições anormais de funcionamento.

Assim, na Figura 3.10 apresenta-se graficamente a variação diária do consumo de energia elétrica durante o período de funcionamento do edifício, assim como no período noturno. Já a Figura 3.11, mostra a relação entre o número de aulas lecionadas por dia e o consumo diário de eletricidade no período de 9 de fevereiro a 11 de março.

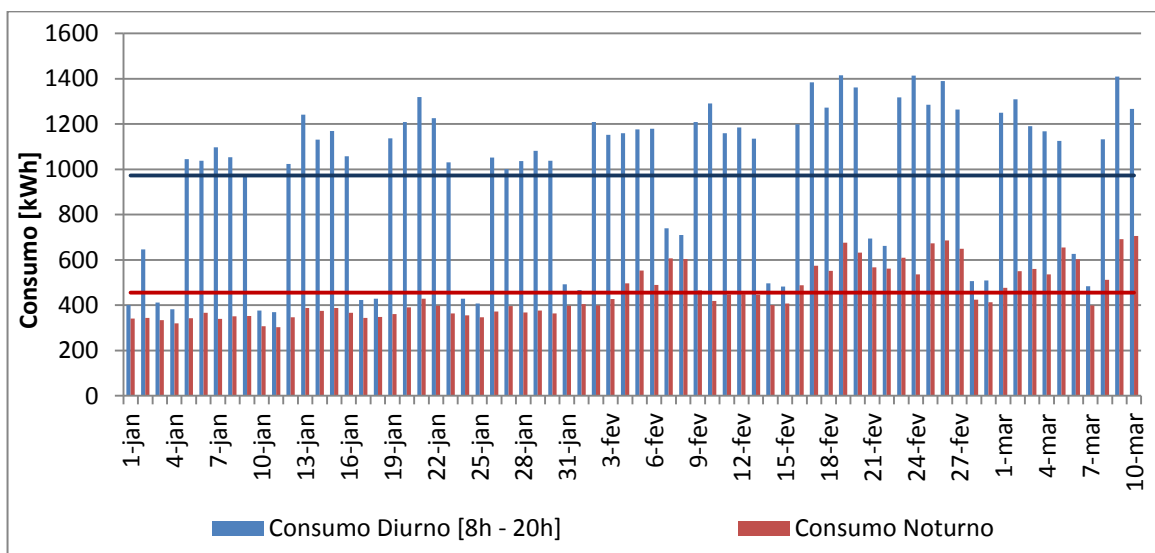


Figura 3.10 Variação de consumos diários de 1 de janeiro de 2015 a 11 de março de 2015

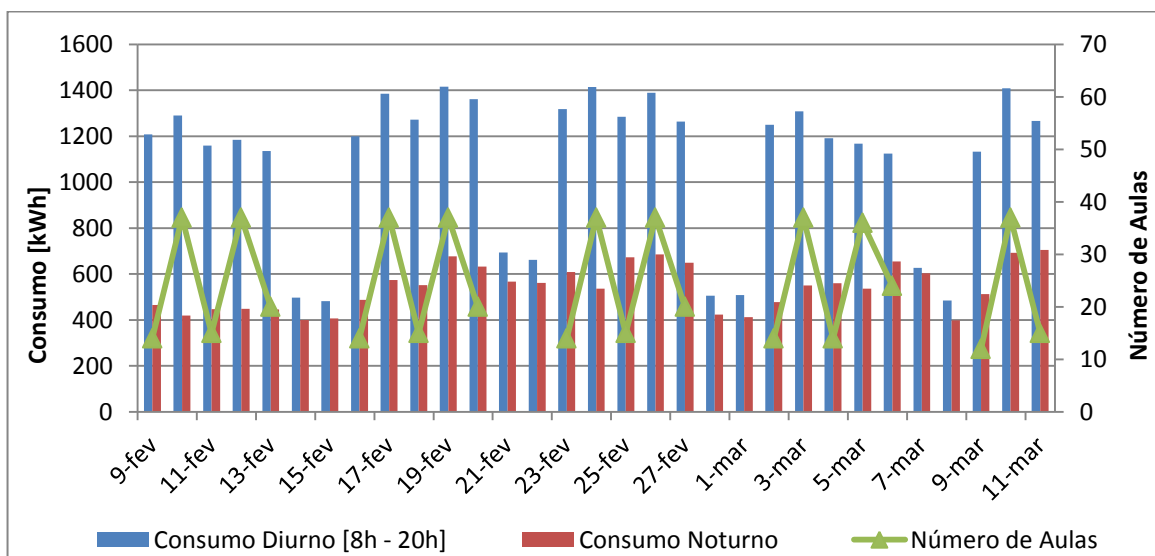


Figura 3.11 Relação entre o consumo de eletricidade e o número de aulas

As figuras apresentadas anteriormente, assim como as que serão apresentadas de seguida, irão permitir a identificação dos horários de maior consumo de energia elétrica nos diversos períodos de funcionamento do edifício. A continuidade deste tipo de análise, nomeadamente para os restantes períodos em falta, permitirá analisar com maior exatidão as variações ocorridas e identificar com mais rigor as variáveis que afetam este consumo, desta forma, futuramente é importante proceder ao registo do número diário de aulas lecionadas, no caso de períodos de aulas, e ao registo de exames realizados, no caso do período de exames. É igualmente importante contabilizar o número de funcionários e docentes existentes no edifício, principalmente, os que possuem gabinetes.

Assim, da Figura 3.10 é possível concluir que efetivamente o consumo de eletricidade é superior nos dias úteis, em que o edifício se encontra em funcionamento. De uma forma geral, o consumo médio diurno de eletricidade no período em análise, entre as 8 horas e as 20 horas é de cerca de 973 kWh e o consumo médio para o período considerado como noturno (20h às 8h do dia seguinte) é de cerca de 456 kWh, representando assim, respetivamente, cerca de 68 % e 32 % do consumo médio total diário (1429 kWh). Considerando apenas os dias úteis, obtemos um consumo médio diurno de 1160 kWh e um consumo médio noturno de 469 kWh, perfazendo assim um consumo médio diário de 1629 kWh. Relativamente ao consumo no fim de semana, foi obtido um consumo médio diário de 927 kWh.

Na Figura 3.11, apresenta-se a variação do consumo de eletricidade em período de aulas com a variação de aulas lecionadas no edifício e conclui-se que efetivamente nos dias em que o número de aulas lecionadas é maior, o consumo é também ligeiramente maior, observando-se um padrão semanal de consumos. O dia com maior frequência de aulas e consequentemente com um número superior de ocupantes do edifício, corresponde ao dia de maior consumo de eletricidade.

Após se verificar uma variação no consumo de eletricidade entre o período de época de exames e o período de aulas, sendo esta mais evidente relativamente ao consumo noturno, fez-se uma análise mais detalhada nestes dois períodos, apresentando na Tabela 3.6 os respetivos consumos. Importante referir que os valores apresentados na tabela se referem aos consumos médios em dias úteis do período analisado.

Tabela 3.6 Consumos médios desagregados por período de funcionamento

	Época de Exames 1-jan. a 9 de fev. [kWh]	Época de Aulas 9-jan. a 11-março [kWh]
Consumo médio diário	1457,69	1831,32
Consumo médio no período diurno	1069,56	1266,51
Consumo médio no período noturno	388,14	564,80
Consumo médio no período diurno de fim de semana	469,75	557,625
Consumo médio no período noturno de fim de semana	389,38	471,84

Pode-se assim verificar um aumento de cerca de 46 % no consumo médio noturno útil em época de aulas, sendo assim possível prever um comportamento energético por parte dos utilizadores menos eficiente. Neste ponto, poderá ser identificado um potencial de melhoria, devendo esta questão ser verificada e analisada em pormenor, identificando potenciais equipamentos que são mantidos em funcionamento durante a noite e ainda utilizar meios de comunicação de forma a incentivar o consumo elétrico consciente e eficaz de todos os utilizadores. O aumento no consumo diurno relativamente ao período de exames (18,4 %) é justificável com o aumento de ocupação do edifício, nomeadamente, maior número de salas de aulas em utilização.

Ainda assim, o consumo noturno em ambos os períodos analisados representa um consumo excessivo para um período em que o edifício se encontra encerrado, visto que, dividindo o consumo médio noturno de 477 kWh pelas 12 horas, dá uma potência média de 40 kW. Este consumo deverá ser investigado de forma a perceber as razões para um consumo tão elevado, no entanto, as causas deverão estar relacionadas com um comportamento do utilizador pouco eficiente, nomeadamente:

- Deixar luzes ligadas de gabinetes, salas de aulas e/ou laboratórios;
- Não desligar equipamentos elétricos como computadores e monitores;
- Computadores do gabinete informático (funcionamento 24/24 horas) de baixa eficiência;
- Manter os equipamentos em *stand-by*.

Mostra-se ainda na Figura 3.12 a variação diária do consumo de eletricidade para um dia representativo do período de aulas, do período de exames e ainda de fim de semana. O dia escolhido foi aquele cujo consumo aproximado se repete mais vezes ao longo do período correspondente, tendo sido considerados assim os seguintes:

- Para o período de época de exames, o dia 26 de janeiro de 2015 (segunda-feira) com um consumo diário de 1424 kWh;
- Para o período de aulas, o dia 17 de fevereiro de 2015 (terça-feira) com um consumo diário de 1958 kWh;
- Para o período de fim de semana, o dia 24 de janeiro de 2015 (sábado) com um consumo diário de 784 kWh;

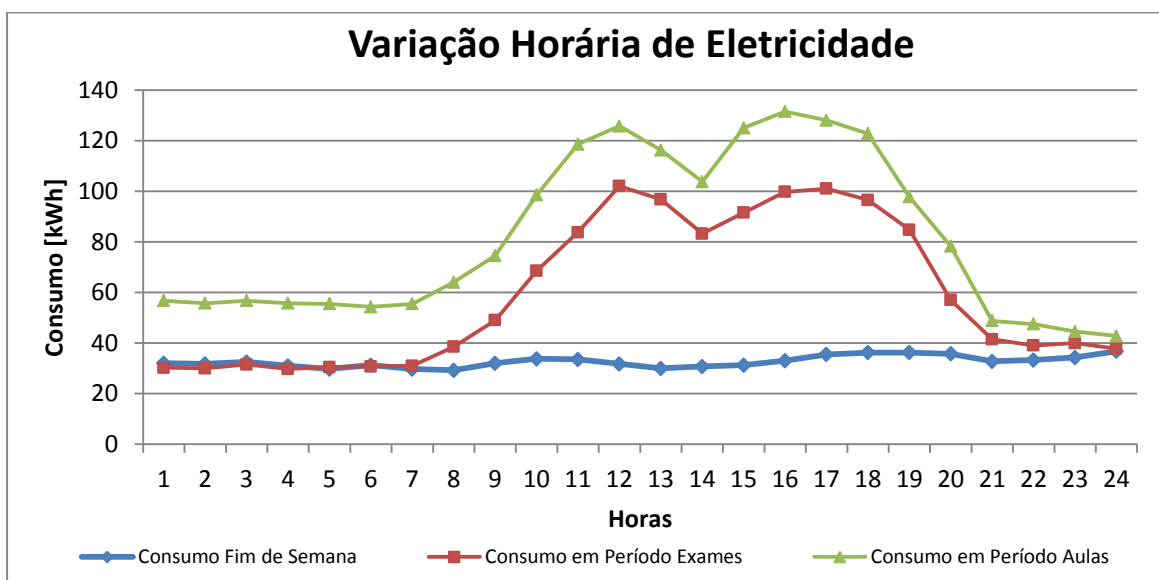


Figura 3.12 Variação horária do consumo de energia elétrica

Observando a Figura 3.12 é perceptível que o consumo horário para o dia definido como característico do período de fim de semana é aproximadamente constante, com oscilações entre os 29 kWh às 8:00 horas e os 37 kWh às 24:00 horas. No que diz respeito aos restantes períodos, estes aparentam ter um padrão de consumo horário semelhante, sendo que, para o período de exames, obtemos uma variação entre 30 kWh às 4:00 horas e 102 kWh às 12:00 horas e para o período de aulas, uma variação entre 43 kWh às 24:00 horas e 132 kWh às 16:00 horas. O edifício tem um perfil de ocupação superior entre as 11:00 horas e as 18:00 horas o que justifica o acréscimo significativo do consumo nesse intervalo de tempo, já o decréscimo observado entre as 13:00 horas e as

14:00 horas, deve-se ao período de almoço, onde a ocupação do edifício é significativamente menor. Para melhor perceber este fato, apresenta-se graficamente nas Figuras 3.13 e 3.14 a relação entre a variação horária do consumo de energia elétrica com a variação do número de aulas e variação do número de alunos ao longo de um dia útil. Foi escolhido o dia 3 de março de 2013, uma vez que faz parte do período de estudo do levantamento real da ocupação do edifício a partir das folhas de presença.

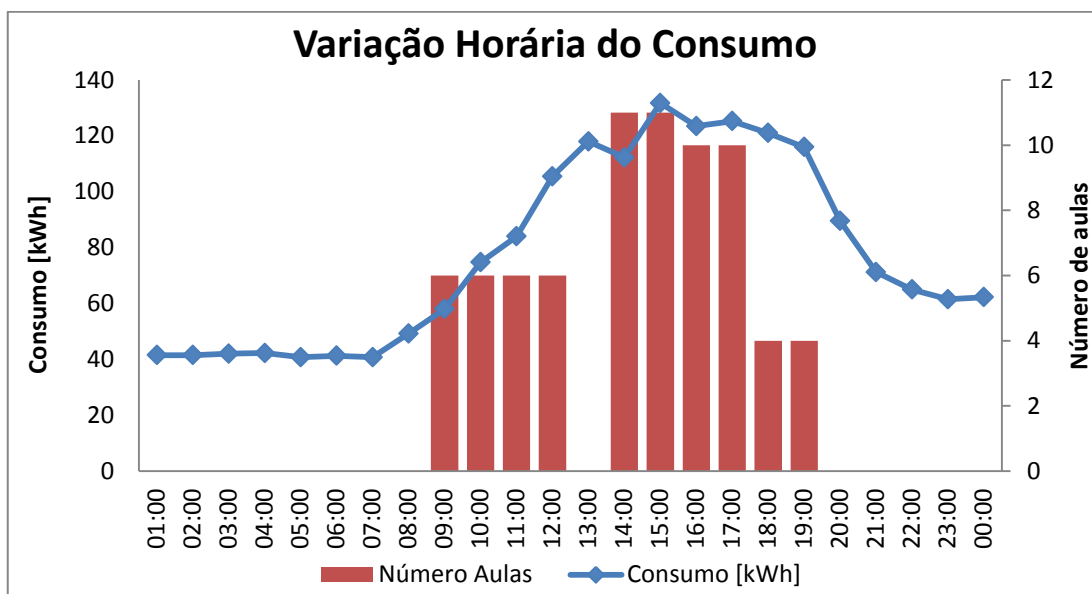


Figura 3.13 Variación horária do consumo de eletricidade com o número de aulas lecionadas

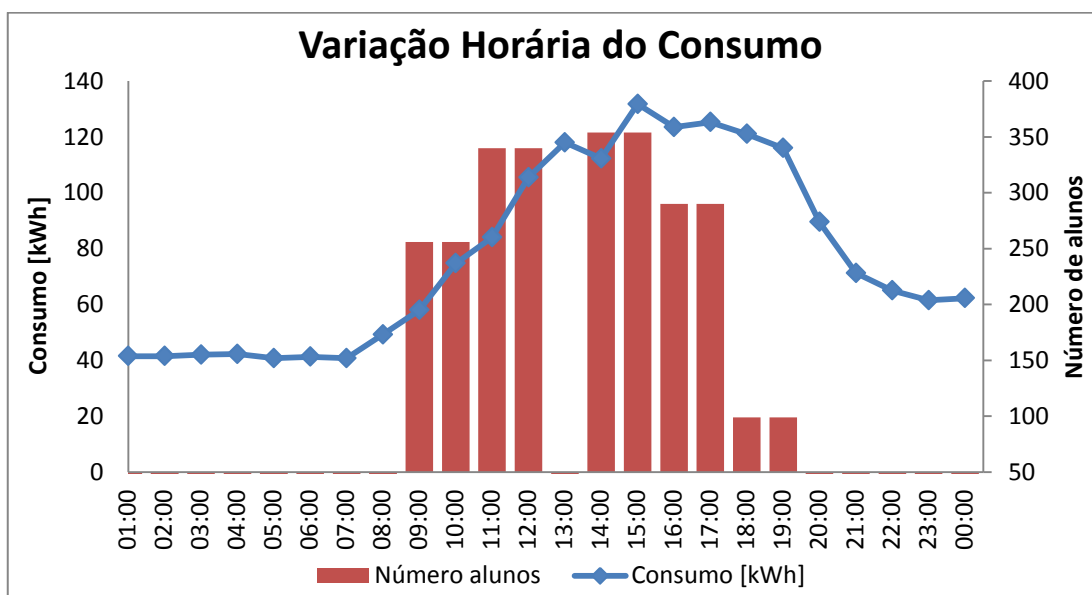


Figura 3.14 Variación horária do consumo de eletricidade com o número de alunos no edifício

Analisando a Figura 3.13 e 3.14, percebe-se que o consumo de eletricidade aumenta com o aumento da ocupação do mesmo, estando esta conclusão mais evidenciada na figura 3.14. A partir das 8:00 horas, horário de abertura do edifício, o consumo começa a aumentar significativamente, assim como o número de pessoas, entre alunos, docentes e funcionários, que entram no edifício, demonstrando posteriormente uma quebra no período das 13:00 às 14:00 horas devido à pausa para almoço. O consumo a partir das 14:00 volta a aumentar, atingindo valores superiores aos obtidos no período da manhã, devido ao maior número de aulas lecionadas em relação ao mesmo e ao maior número de pessoas a utilizarem o edifício. A partir das 16:00 horas o consumo de energia começa a diminuir uma vez que é um período a partir do qual os utilizadores começam a desocupar o edifício e o número de aulas também reduz significativamente.

3.5.3. Desagregação dos consumos de energia

É de extrema importância conseguir a desagregação dos consumos, seja por tipo de utilização, seja por zona de utilização, tanto de energia elétrica como de gás natural, uma vez que permite identificar os principais consumidores de energia, que deverão ser aqueles onde a atenção sobre potenciais melhorias deverá incidir. Uma desagregação rigorosa é possível a partir da distribuição de contadores parciais pelo edifício, conseguindo com exatidão obter os consumos reais associados a cada zona definida. Existindo apenas um único contador de energia elétrica para todo o edifício, esta análise só pôde ser realizada, consultando a simulação real realizada no âmbito da auditoria energética do edifício. A mesma simulação, realizada a partir do programa DesignBuilder v.3, no âmbito da auditoria energética (Hauer, 2012) permitiu a desagregação dos consumos por tipo de utilização para todo o edifício e permitiu ainda a desagregação por zonas, definindo cinco blocos principais.

Assim, são apresentados na Tabela 3.7, os consumos globais do edifício, desagregados por tipo de utilização e na Figura 3.16 os consumos desagregados por zona do edifício.

Tabela 3.7 Consumos desagregados por tipo de utilização

Equipamentos/Sistemas	Consumo de energia [kWh/ano]		% Consumo	
Aquecimento-Gás	302025		46,0	
Aquecimento-Bombas	5813	320000	0,9	48,7
Aquecimento-UTA's	11222		1,7	
Aquecimento-Splits	940		0,1	
Arrefecimento-Chiller	4924		0,7	
Arrefecimento-Bombas	690	11388	0,1	1,7
Arrefecimento-UTA's	750		0,1	
Arrefecimento Splits	5024		0,8	
Iluminação	39588		6,0	
Equipamentos Elétricos	262569		40,0	
Equipamentos Gás	4613		0,7	
Ventiladores	9171		1,4	
Elevadores	9820		1,5	
TOTAL	657149		100,0	

A partir da Tabela 3.7 entende-se que o sistema de aquecimento a gás é o principal responsável pelo consumo de energia, representando cerca de 46 % do consumo total anual. Os equipamentos elétricos representam cerca de 40 % do consumo total anual e por último, como terceiro sistema mais consumidor, temos a iluminação com 6 %.

Perante este resultado, torna-se pertinente apresentar os equipamentos elétricos consumidores de energia existentes no edifício, assim como o sistema de iluminação, uma vez que são considerados os principais sistemas consumidores de energia.

A figura seguinte demonstra as zonas do departamento definidas para efeitos da simulação real da auditoria, considerando quatro blocos principais e ainda um quinto associado a espaços complementares.



Figura 3.15 Zonas consideradas na auditoria para efeitos de simulação real do edifício do DEM

De referir ainda que as áreas úteis associadas a cada bloco são semelhantes, sendo que, para o bloco Norte-Sul temos uma área aproximada de 1972 m², para o bloco de Materiais e Tecnologias, 1893 m², para o bloco Central, 1907 m² e para o bloco Sul, 1576 m².

Postas estas considerações, apresenta-se as distribuições de consumo de energia elétrica para cada bloco na Figura 3.16

Consumo de Eletricidade

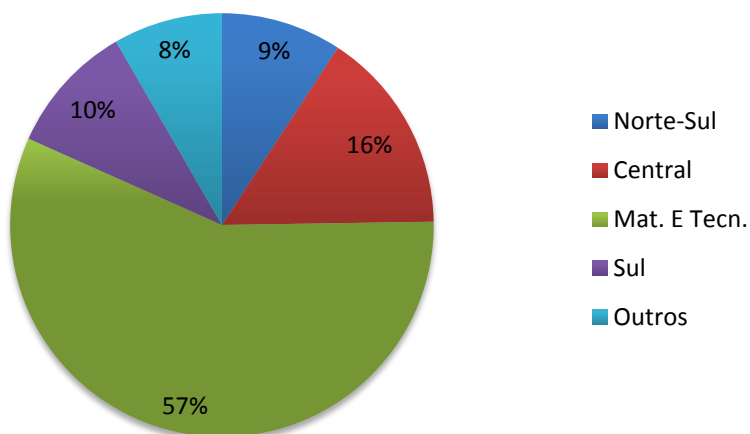


Figura 3.16 Desagregação do consumo de energia elétrica por bloco

Analisando a figura, percebe-se que, relativamente ao consumo de energia elétrica, o bloco de Materiais e Tecnologias é responsável pela maior parte do consumo, representando cerca de 57 % do consumo total do edifício, este resultado pode ser justificado pelo fato deste bloco ser o que possui mais laboratórios e é neste local que está situado o espaço técnico para o circuito de água e as oficinas. O Bloco Norte-Sul é o bloco com o menor consumo do edifício, representando cerca de 9 % do consumo total.

Tal como previsto, com esta análise identificaram-se as zonas de maior consumo, pelo que se torna interessante a instalação de contadores parciais dentro do bloco de Materiais e Tecnologias, nomeadamente na zona de laboratórios e oficinas.

3.5.4. Equipamentos elétricos

Posteriormente seria importante, já que ao longo do desenvolvimento desta dissertação não o foi possível, fazer um levantamento do número de horas de utilização dos equipamentos, assim como fazer uma monitorização dos consumos aos equipamentos elétricos que se mostrem principais consumidores.

Existe um número bastante elevado de computadores (220) e computadores portáteis (209) no edifício, instalados maioritariamente nos gabinetes dos docentes, nas salas de informática (inclusive o gabinete informático com um funcionamento de 24 horas, com 7 computadores e 7 monitores) e laboratórios. Admitindo a potência referida na auditoria por computador de 80 W, por monitor de 35 W e de computador portátil de 60 W, considerando uma utilização de apenas 4 horas diárias cada, durante 220 dias/ano, obtém-se um consumo total de 41778 kWh/ano, o que comparado ao consumo anual obtido para equipamentos elétricos, representaria cerca de 16 %. Se estes equipamentos permanecerem ligados durante as 12 horas relativas ao período noturno, só neste período teríamos um consumo de cerca de 456 kWh/noite.

Assim, a sensibilização do utilizador para a adoção de pequenos gestos comportamentais de eficiência energética no que diz respeito à utilização destes equipamentos poderá ser uma importante medida na racionalização de consumos.

3.5.4.1. Sistema de Iluminação

Tendo em conta que a iluminação é um dos sistemas que mais contribui para os consumos globais de energia das organizações ou edifícios e possui de uma forma geral potenciais elevados de melhoria, esta deve ter especial destaque. Para uma iluminação

eficiente deverão ser considerados equipamentos de maior eficiência, priorizando sempre o aproveitamento da iluminação natural. Dos equipamentos existentes no mercado, consideramos para este caso: lâmpadas de halogénio, lâmpadas de descarga (alta e baixa pressão) e lâmpadas LED.

De acordo com a auditoria do DEM realizada em 2012, o edifício possui uma potência instalada de iluminação de cerca de 106,0 kW e uma potência disponível de 94,9 kW, devido à remoção de algumas lâmpadas que se revelaram dispensáveis. A potência associada à iluminação exterior representa cerca de 12 % da potência de iluminação disponível. Possui 6 tipos distintos de iluminação diferentes, nomeadamente, fluorescente tubular (78%), fluorescente compacta (10%), halogénio (6,9%), iodetos metálicos (4,8%), vapor de mercúrio a alta pressão (0,4%) e Incandescente (0,2%).

Relativamente aos comandos dos circuitos de iluminação, alguns sistemas são controlados manualmente e outros por controlo automático. Existem no edifício quatro tipos de controlo automático, nomeadamente, detetores de movimento, interruptores horários, interruptores crepusculares e temporizadores.

Uma vez que já existe o estudo relativo ao sistema de iluminação do DEM (Silva, 2011) e uma análise na auditoria (Hauer, 2012), o gestor de energia ou o elemento com esta tarefa atribuída deverá analisá-lo, fazendo um novo levantamento do sistema de iluminação, registá-lo em formato Excel, (como o exemplo apresentado no ANEXO A onde estão apresentados os dados da auditoria em 2012) verificar e registar todas as alterações feitas ao sistema. O documento deverá ser atualizado sempre que haja alterações.

Segundo o estudo realizado no DEM (Silva, 2011), no edifício, cerca de 37 % do consumo energético total associado à iluminação advém dos laboratórios, seguindo-se os gabinetes e as zonas de circulação, ambos com uma contribuição de 10 %. As salas grandes representam cerca de 7,9 % do consumo total associado à iluminação e as salas pequenas, apenas contribuem com 4,1 %. No que diz respeito à iluminação exterior, o mesmo estudo refere que esta é responsável por apenas 3 % do consumo total em iluminação.

3.5.5. Indicadores de desempenho energético

De acordo com a análise realizada aos consumos energéticos, apresenta-se na Tabela 3.8, todos os indicadores de eficiência energética obtidos e definidos ao longo desta dissertação, para o edifício do DEM. Os indicadores relativos à energia elétrica são referentes ao período de 2009 a 2011 e os indicadores relativos ao gás natural foram obtidos considerando o período de 2009 a 2013. Para os indicadores em função da utilização do edifício, foi utilizado o valor médio de 830 alunos, uma vez que foi o número total de estudantes registado no levantamento das folhas de presença, a este valor foram ainda acrescentados 53 utilizadores, correspondentes a docentes, funcionários e investigadores, perfazendo um total de 883 ocupantes.

Apresentam-se ainda as restantes considerações relativas aos fatores de conversão necessários:

- Emissões de CO₂ da Electricidade (2013) = 141,58 g/kWh (Edpsu.pt, 2015);
- Emissões de CO₂ de gás natural (2013) = 184 g/kWh (valor referido na fatura de gás natural de 2013);
- Eletricidade: 1 kWh = 0,000215 tep (Adene, 2015);
- Gás natural: 1000 m³ = 0,9213 tep (Iea.org, 2015);
0,093 m³ de gás natural = 1 kWh (Iea.org, 2015).

Tabela 3.8 Indicadores de desempenho energético do DEM entre 2009 e 2013

INDICADORES	Eletricidade	Gás Natural	Total
Consumo médio anual [kWh/ano]	323890,66	320702,57	644593,23
Consumo médio anual [tep/ano]	69,64	27,48	97,11
Consumo médio mensal [kWh/mês]	26990,89	26725,21	53716,10
Consumo médio diário [kWh/dia]	888,10	887,34	1775,44
Custo médio anual [€/ano]	33370,7	24561,46	57935,16
Consumo médio diário de Novembro a Março [kWh/dia]	874,14	1978,0	2852,14
Consumo médio diário Abril a Outubro [kWh/dia]	898,10	121,10	1019,20
Consumo específico de energia por unidade de área útil [kWh/m ² .ano]	44,08	43,65	87,74
Consumo específico de energia por unidade de área útil [kgep/m ² .ano]	9,48	3,74	13,22
Consumo específico de energia por utilizador [kWh/utilizador.ano]	366,81	363,20	730,00
Emissões médias anuais de CO ₂ [tonCO ₂ -eq./ano]	45,86	59,01	104,87
Emissões médias anuais de CO ₂ por utilizador [kgCO ₂ -eq./utilizador.ano]	0,05	0,07	118,76

Os indicadores de desempenho energético para além de serem uma boa ferramenta para verificações futuras é também uma estratégia fundamental de Benchmarking. O Benchmarking energético aplicado a edifícios públicos em Portugal, ainda não foi devidamente explorado, pelo que a publicação de dados energéticos relativos a outros edifícios é bastante reduzida.

Para a um Benchmarking rigoroso é necessário que os dados de energia sejam normalizados de acordo com características comuns não variáveis, como, a área de pavimento útil e a finalidade ou tipologia do edifício. Ainda assim é sempre complicada a comparação entre vários edifícios uma vez que cada um tem as suas características, a sua finalidade, horários de funcionamento diferentes e utilização de variados equipamentos. Desta forma, o melhor *benchmarking* que poderá ser realizado é o interno, a partir da comparação e análise dos diversos consumos de energia obtidos ao longo dos anos, dentro do próprio edifício. Ainda assim, tentaram-se obter indicadores de edifícios semelhantes ao analisado nesta dissertação, nacionais ou internacionais, procurando uma comparação energética entre eles.

Os indicadores de consumo específico obtidos na Tabela 3.9 foram obtidos a partir da análise de um estudo de Benchmarking para edifícios públicos na Irlanda do Norte (Jones et al, 2000), nomeadamente, para edifícios universitários não residenciais, a partir de um estudo referente à análise energética da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Bragança (Costa, 2014), um artigo de revisão sobre o consumo de energia em edifícios escolares (Pereira, et al.,2014) e ainda outro artigo sobre o desempenho energético em edifícios escolares na Grécia, (Dascalaki, & Sermpetzoglou, 2011) onde foi escolhido o valor típico de consumo para a zona climática (definida a partir dos graus-dia de aquecimento) mais próxima da do DEM.

Tabela 3.9 Consumo específico de energia por unidade de área nas universidades

	Eletricidade [kWh/m ² .ano]	Combustível fóssil [kWh/m ² .ano]
DEM (2009-2011/ 2009-2013)	44,08	43,65
Universidades não-residenciais - Irlanda (2000)	39	142
Escola Superior de Educação - Bragança (2010)	53,7	34
Escola Superior de Educação - Bragança (2013)	88,3	47,4
Escolas Secundárias Portuguesas	33	67
Estabelecimentos de Ensino – Grécia (901-1500 HDD)	13,5	43,6

É importante referir que na Irlanda do Norte as necessidades de aquecimento são superiores e as de arrefecimento inferiores relativamente a Portugal. Posto isto, verifica-se que o valor relativo ao consumo de energia elétrica do DEM (44,08 kWh/m².ano) se encontra acima do valor médio definido para as universidades da Irlanda do Norte, no entanto, este valor poderá ser justificado pela maior necessidade de arrefecimento em Portugal e consequentemente, um maior consumo de energia elétrica. Relativamente ao combustível fóssil, os valores usados como comparação são bastante superiores aos obtidos para o edifício em estudo, podendo novamente ser justificados com a maior necessidade de aquecimento existente na Irlanda do Norte. Relativamente ao consumo específico de energia para a Escola Superior de Educação, verifica-se que este é ligeiramente superior ao consumo específico associado ao DEM. É ainda importante destacar que, o consumo de combustível fóssil em estabelecimentos de ensino da Grécia, com necessidades de aquecimento semelhantes ao edifício em estudo, é semelhante ao do DEM.

3.6. Planos de Ação e Propostas de Melhoria

O plano de ação é uma etapa fundamental no planeamento do sistema de gestão de energia, pois é nesta fase que são definidas as atividades a realizar de acordo com os problemas ou potenciais de melhoria identificados, como serão realizadas e quais os recursos necessários para as realizar. A priorização das medidas a implementar deverá ser decidida com base num investimento com um período de retorno bastante curto, normalmente oito anos. No início do sistema de gestão deverão ser definidas metas facilmente alcançáveis para motivar a equipa.

3.6.1. Monitorização dos consumos

O principal potencial de melhoria diz respeito à monitorização dos consumos, visto não existir qualquer hábito no edifício do DEM relativamente ao mesmo. As faturas de energia elétrica e gás natural não se encontram disponíveis e mesmo existindo uma telecontagem dos consumos elétricos, estes não são devidamente direcionados para o departamento, muito menos tratados e analisados de uma forma crítica e com perspetivas de melhoria.

Outra observação, diz respeito à existência de apenas um contador de energia elétrica para todo o edifício, impedindo a desagregação dos consumos por zonas e limitando a análise. Assim, a instalação de contadores parciais distribuídos no edifício pelos vários equipamentos e zonas definidas torna-se fundamental para que se possa analisar de forma inequívoca a contribuição de cada área/equipamento nos consumos registados. A compartimentação/medição parcial dos consumos existentes levará certamente a conclusões mais assertivas no que diz respeito, por exemplo, à origem de consumos de base tão elevados como os verificados nos capítulos anteriores. Esta é a principal falha e o principal ponto a intervir para que possam ser desenvolvidas tarefas de melhoria, direcionadas aos locais de maior consumo e aos maiores potenciais de otimização, tal como tem vindo a ser referido ao longo da dissertação.

Além das soluções de monitorização e análise de consumos que têm vindo a ser descritas neste trabalho, propõe-se ainda uma solução mais ambiciosa e eficaz, a implementação de um Sistema de Monitorização Remota. O Sistema de Monitorização Remota inclui os seguintes aspetos:

- Registo e análise de consumos de energia;

- Criação de *dashboards* com gráficos e tabelas da análise dos consumos;
- Comparação dos valores monitorizados com os faturados;
- Emissão periódica de relatórios de consumo, por exemplo, consumo da semana anterior, consumo do dia anterior ou picos de carga;
- Acessibilidade de acesso.

O Sistema permite conhecer as tendências do consumo, criando um *benchmarking* interno, disponibiliza os dados de forma expedita a qualquer utilizador interessado e ao responsável de gestão de energia e permite ainda identificar rapidamente anomalias e potenciais melhorias.

Um dos exemplos no mercado deste tipo de serviço é o *EMC – Energy Monitoring & Controlling* da SIEMENS. O sistema consiste na instalação de vários equipamentos como, contadores parciais no edifício, medidores de caudal e equipamentos de controlo que permitem então o registo de consumos desagregados e a análise dos mesmos, apresentando relatórios, estatísticas e ainda potenciais melhorias. Este sistema apresenta alguns casos de sucesso, nomeadamente, a aplicação do sistema na Vodafone, atingindo poupanças energéticas na ordem dos 25 % ou ainda, na Aalst Polyclinic, que com um *payback* de 6 meses, atingem-se poupanças de 30%.

Numa perspetiva de trabalhos futuros, uma ótima alternativa à aquisição do sistema de monitorização remota, com custos associados poderia ser o desenvolvimento de um projeto de investigação, desenvolvido potencialmente em parceria com os departamentos de engenharia eletrotécnica e de computadores, de engenharia informática e de engenharia mecânica de forma a desenvolver um sistema de monitorização que dê o suporte necessário ao sistema de gestão de energia. É essencial que o desenvolvimento passe numa fase inicial pela instalação de contadores parciais de energia no edifício e numa segunda fase, pelo desenvolvimento de uma aplicação de recolha e tratamento de dados.

. O *hardware* deverá consistir em:

- Contadores parciais de eletricidade;
- Contador de gás natural;
- Sensores de temperatura;
- Servidor de recolha e transmissão de dados.

No que diz respeito ao *software*, este deverá ser capaz de realizar as seguintes funções:

- Recolha e armazenamento dos dados gerados pelos contadores e sensores;
- Apresentação de dados de consumo de uma forma útil e perceptível (gráficos e estatísticas);
- Visualização dos consumos em tempo real;
- Histórico de consumos;

A partir da análise dos consumos de energia e tendo em conta os principais sistemas consumidores, as propostas de melhoria terão incidência no sistema de aquecimento de edifício, na gestão dos equipamentos elétricos e no sistema de iluminação.

3.6.2. Sistema de aquecimento

Considerando os resultados obtidos na análise dos consumos de gás natural, foram identificados potenciais de melhoria neste sistema, uma vez que se verificaram consumos de gás natural mais elevados no período noturno do que no período diurno. Como foi já referido, este fato poderá ser justificado pelo grande decréscimo da temperatura da água da caldeira durante a noite, período em que esta está desligada, levando a um pico de consumo bastante elevado quando é novamente ligada pela manhã para repor novamente a temperatura de funcionamento, necessária ao cumprimento da sua função. Desta forma, deverá ser analisado o funcionamento deste equipamento para confirmar a justificação dada para o aumento excessivo de consumo nesse período.

Assim, deverá ser feita uma nova monitorização dos consumos de gás natural, utilizando a mesma metodologia descrita e durante o mesmo período ou em período de tempo com características semelhantes ao da monitorização realizada nesta dissertação, mantendo a caldeira em funcionamento durante a noite. Esta tarefa deverá ser executada pelo responsável de controlo e manutenção da caldeira e os dados deverão ser registados e reencaminhados para o gestor de energia que fará a comparação destes com os de referência definidos no subcapítulo 3.3.2. Os resultados terão de ser analisados, quantificando as vantagens da implementação efetiva da medida.

Uma vez que a monitorização efetuada no âmbito deste estudo foi realizada durante o mês de março, um período não muito representativo do consumo na época de aquecimento, para uma análise mais precisa desta potencial melhoria, sugerem-se duas novas monitorizações semelhantes à apresentada, para o mês de Janeiro (mês mais representativo da época de aquecimento), sendo que a primeira, efetuada com os períodos

normais de funcionamento da caldeira e o segundo, sem a interrupção do seu funcionamento durante a noite.

Uma outra abordagem de melhoria neste equipamento será o isolamento da zona das caldeiras por forma a minimizar as perdas de calor provocadas pelas baixas temperaturas na sua envolvente durante a noite, diminuindo assim o consumo de gás natural. Esta medida poderá ter associada uma redução maior do consumo energético do que a medida anterior, no entanto, esta tem um investimento inicial associado pelo que, o período de retorno do investimento deverá ser avaliado, analisando a sua viabilidade.

A aplicação das duas medidas anteriores em conjunto (isolamento e controlo de períodos de funcionamento) poderá ser também uma alternativa benéfica a avaliar após a obtenção dos resultados das medidas propostas pois, se por um lado o isolamento da área reduz as perdas de calor nos reservatórios, o que se traduz numa redução de consumo quer em período noturno quer igualmente em período diurno, por outro lado o controlo de períodos de funcionamento, ou até o funcionamento contínuo, pode levar a reduções no consumo, pois a energia necessária para contrariar a grande diferença de temperatura durante a noite é elevadíssima.

3.6.3. Sistema de iluminação

A primeira medida de melhoria sugerida para o sistema de iluminação consiste na substituição das lâmpadas incandescentes e de halogénio existentes no edifício, visto serem as lâmpadas com uma eficiência mais baixa e um menor tempo de vida útil. Inclusive, as lâmpadas de incandescência tradicionais já deixaram de ser comercializadas.

A tradicional lâmpada incandescente de 60 W proporciona aproximadamente a mesma luz do que uma lâmpada fluorescente compacta de 11 W sendo que a primeira tem uma vida útil de cerca de 1000 horas e a segunda de 8000 horas. Desta forma, a substituição de cada lâmpada incandescente, por uma do tipo fluorescente compacta de 11 W, poderia levar a poupanças de cerca de 57 €. (assumindo uma tarifa de 0,14 €/kWh e um custo unitário relativo à lâmpada incandescente de 1 € e à fluorescente de 7 €).

As lâmpadas de halogénio deverão ser substituídas por iluminação LED, considerando a equivalência de fluxo luminoso (*lumens*) nos locais onde se apresentam períodos longos de utilização da iluminação artificial.

Deverá proceder-se à substituição dos transformadores magnéticos das lâmpadas de halogénio, por transformadores eletrónicos, assim como substituir os balastros magnéticos pelos eletrónicos das lâmpadas fluorescentes, conduzindo a poupanças no consumo de energia da ordem dos 24 % (Silva, 2011).

As lâmpadas fluorescentes compactas do tipo F8 deverão ser substituídas por lâmpadas do tipo F5 diminuindo a potência de 45 W para 30 W. Esta substituição aplicada a gabinetes de docentes, gabinetes administrativos e laboratórios, pode traduzir-se na diminuição de cerca de 1343 €/ano (Silva, 2011).

Foram identificadas várias situações em que se observaram lâmpadas ligadas desnecessariamente nas instalações sanitárias. Desta forma, neste tipo de instalações, os sistemas de controlo manual, deverão ser substituídos por detetores de movimento.

Uma outra possível abordagem seria atribuir a responsabilidade a um funcionário no início do dia, de abrir todas as persianas existentes nas salas de aula para que, aproveitando a iluminação natural disponível, o primeiro instinto do utilizador não seja ligar a iluminação artificial.

Sendo este edifício utilizado por um grande número de pessoas, é importante que a informação seja colocada em locais estratégicos, de modo a influenciar o comportamento do utilizador no momento certo, nesse sentido, a colocação de autocolantes/alertas junto aos locais de decisão, nomeadamente interruptores, incentiva o utilizador a desligar a iluminação sempre que esta não seja necessária ou sempre que abandona o espaço.

É de grande importância a realização de campanhas de sensibilização com a colocação de autocolantes nos locais de decisão, a criação de pósteres e *flyers* que refiram o consumo atual do edifício e a influência do utilizador no consumo. A influência comportamental dos utilizadores de qualquer espaço tem um peso muito significativo nos consumos e na eficiência energéticas dos edifícios, no entanto, este é também o mais difícil de controlar, desta forma, com a sensibilização através de informação em locais adequados pretende-se que o utilizador fique mais atento a estas questões, moderando o seu comportamento energético e reduzindo assim significativamente o consumo de energia.

3.6.4. Equipamentos elétricos

Relativamente aos equipamentos de escritório, sempre que possível será preferencial o uso de computadores portáteis visto serem muito mais económicos do que os fixos e deve ser sempre considerada a compra de equipamentos com a etiqueta *Energy Star*.

Um computador em funcionamento poderá ter uma potência de 36 W a 250 W, em *stand-by* de 1 W a 27 W, e desligado mas ligado à corrente, entre 1,5 W a 3 W. Tendo em conta que existe um elevado número de computadores, monitores, computadores portáteis, impressoras e outros equipamentos complementares, o encerramento destes durante a noite (12 horas) traduzir-se-á numa boa medida de redução dos consumos.

Torna-se importante, a aquisição de tomadas com interruptor para que se garanta que todos os equipamentos elétricos sejam efetivamente desligados. Deverão ser também criadas campanhas de sensibilização para incentivar os utilizadores a encerrarem sempre estes equipamentos, durante a noite e sempre que não seja prevista uma utilização durante um período de pelo menos uma hora. Os computadores e portáteis deverão ainda ser programados para que se desliguem automaticamente após um determinado período sem utilização.

Admitindo que 50 % dos equipamentos de escritório existentes no edifício permanecem ligados durante as 12 horas referentes ao período noturno, considerando uma potência de 60 W para computadores portáteis, 80 W para computadores fixos, 35 W para monitores, com o encerramento destes, poderemos obter uma redução no consumo de cerca de 228 kW/noite, ou seja, uma diminuição do consumo noturno na ordem dos 51%.

À semelhança do já verificado no sistema de iluminação, também aqui temos uma influência comportamental elevadíssima do utilizador, que se traduz em consumos adicionais significativos pelo que, novamente se recomenda o recurso a informação local e campanhas de sensibilização já referidas neste tópico.

3.7. Sensibilização, Formação e Comunicação

Os consumos reais são fortemente influenciados pelo comportamento dos utilizadores, neste sentido, deverão ser garantidas as condições necessárias ao

desenvolvimento de comportamentos responsáveis. Um bom ponto de partida serão as ações de sensibilização.

As ações de sensibilização são essenciais para o sucesso do sistema de gestão, primeiro, por permitirem informar que existe um sistema integrado com vista a reduzir os consumos e que este será supervisionado e analisado continuamente, segundo, por permitirem dar conhecimento a todos os utilizadores da importância individual de cada um no funcionamento do sistema, demonstrando os benefícios ambientais e económicos que cada ação poderá atingir. Desta forma, as ações de sensibilização deverão ser um processo cíclico de forma a transmitir aos utilizadores o funcionamento contínuo do sistema.

O método mais eficaz de sensibilização deve ser baseado em ações de sensibilização presencial, garantindo que a informação chegue a todos os utilizadores e permitindo que cada um possa expressar as suas opiniões, críticas e sugestões relativas ao sistema. A sensibilização presencial poderá consistir numa pequena reunião onde devem estar presentes diversos utilizadores representativos das várias áreas do departamento cujas medidas descritas no plano de ação sejam aplicadas, devendo ser organizada e comandada pelo gestor de energia. Deverá ser o mais curta e direta possível, deverá fomentar uma atitude proactiva em relação aos consumos energéticos e deverá ter como principais pontos de discussão os seguintes:

- Propósito da ação de sensibilização;
- Explicação do Sistema de Gestão de Energia;
- Apresentação da equipa de gestão de energia e/ou Gestor de energia;
- Apresentação dos consumos globais de energia e seus indicadores, nomeadamente, indicadores de consumos específicos por utilizador;
- Custos anuais de energia;
- Comparação com outros departamentos;

Posteriormente, poderão ser usadas outras formas de sensibilização, nomeadamente escrita, via e-mail para todos os utilizadores do edifício, ou a partir de posters colocados nos locais de maior ocupação, como por exemplo no bar. A sensibilização e a comunicação estão intrinsecamente conectadas, desta forma, os exemplos de comunicação de resultados apresentados a seguir, poderá ser também uma forma de sensibilização escrita.

De acordo com o estipulado na norma ISO 50001 (2011), todos os resultados obtidos ao longo da implementação do sistema de gestão de energia deverão ser tratados e apresentados sob a forma de relatórios e ainda comunicados internamente. A comunicação interna no DEM deverá ser a partir da disponibilização dos dados de consumos e progressos feita via e-mail, a partir da realização e arquivo de relatórios ou também a partir da publicação em posters nos locais de maior utilização.

Na Figura 3.17 apresenta-se um exemplo de comunicação externa/sensibilização acerca do sistema de gestão de energia, a partir da publicação *online* de notícias no *website* do DEM.

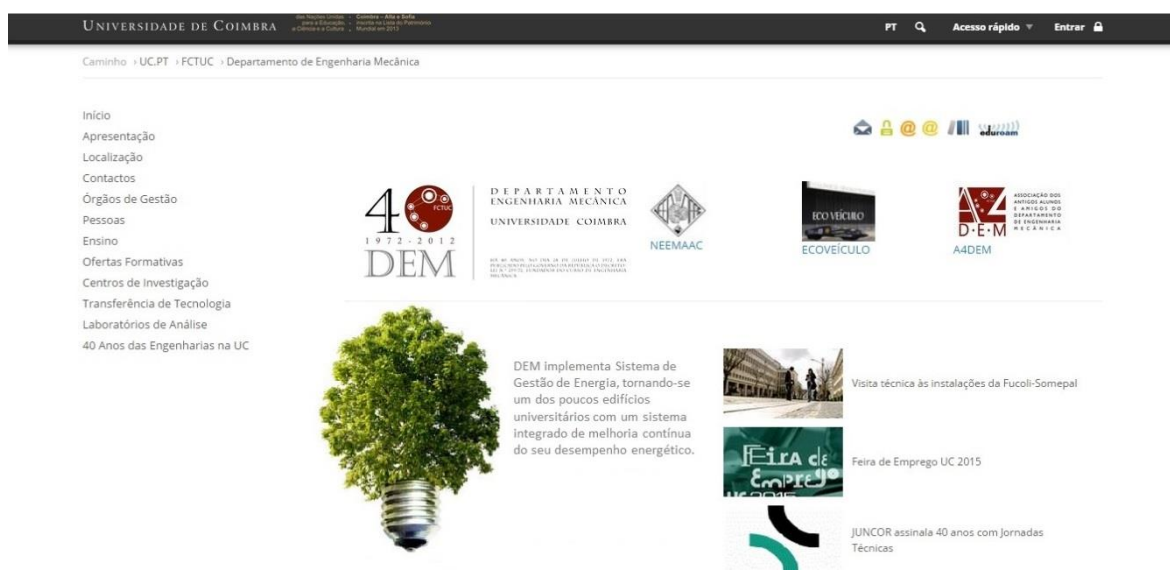


Figura 3.17 Exemplo de comunicação externa através do *website* do DEM

Foi também elaborado um poster informativo sobre o consumo energético do edifício, dirigido a todos os utilizadores do DEM, estando este apresentado no APÊNDICE B.

No que diz respeito à formação, deve ser uma parte integrante do sistema, principalmente sempre que ocorram situações de introdução de novas tecnologias no edifício. É aconselhável que seja fornecido ao gestor de energia um curso técnico sobre Sistemas de Gestão de Energia segundo a norma ISO 50001:2011, como por exemplo o curso técnico de 16 horas, realizado nos dias 23 e 24 de Junho de 2015 em Viseu, “Aspetos práticos da implementação de Sistemas de Gestão de Energia (ISO 50001) - Curso Técnico” e organizado pela Agência Portuguesa de Engenheiros do Ambiente.

A deteção de anomalias ou desperdícios de energia por parte dos utilizadores que a identificam deverá ser comunicada ao gestor de energia.

3.8. Controlo Operacional

O controlo operacional consiste na monitorização e manutenção dos diversos equipamentos existentes, para que se mantenham funcionais, eficientes e possa ser detetada qualquer falha antecipadamente. Assim, devem ser estabelecidos prazos e metodologias de manutenção preventiva/corretiva nos equipamentos que se considerem necessários e estes controlos operacionais devem ser comunicados às pessoas responsáveis.

A manutenção dos equipamentos deverá ser realizada tendo em conta:

- O plano de controlo operacional definido, considerando as informações técnicas e conselhos dadas pelo fabricante de cada equipamento;
- Deverão ser feitos registos de cada manutenção, com as operações efetuadas descritas, assim como os resultados das mesmas e entregues ao gestor de energia;
- Devem ser identificadas avarias nos equipamentos ou sistemas e potenciais de melhoria, caso se verifiquem.

A Tabela 3.10 apresenta algumas medidas que devem constar no plano de manutenção dos sistemas de iluminação:

Tabela 3.10 Medidas de manutenção do sistema de iluminação

Tipo de operação	Periodicidade
Substituição de lâmpadas	Em caso de Avaria
Controlo e atualização do horário da iluminação	Trimestral
Limpeza de luminárias	Anual

No que diz respeito à iluminação, o responsável definido para este sistema, deverá periodicamente fazer a substituição dos equipamentos sempre que estes deixam de funcionar, tendo sempre em consideração, a substituição por equipamentos mais eficientes, deverá ainda ser verificado o sistema de controlo horário da iluminação, adequando o horário à duração sazonal do dia.

Relativamente aos *chillers* e às caldeiras, a manutenção deverá ser feita pelos técnicos especializados. Em particular, deverá ser feita uma inspeção às caldeiras anualmente, um mês antes de entrar em funcionamento por forma a verificar se a mesma está operacional. Periodicamente deverá ainda ser verificada a eficiência da caldeira.

No que diz respeito aos restantes equipamentos, ainda que não seja apresentado um plano específico de manutenção, por desconhecimento do seu funcionamento e perfil

de utilização, os utilizadores dos mesmos deverão estar atentos ao seu funcionamento, comunicando ao gestor de energia qualquer avaria ou potencial de melhoria identificado.

4. CONCLUSÕES

O grande objetivo desta dissertação consistiu no planeamento com vista à implementação de um sistema de gestão de energia no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, de acordo com os requisitos apresentados na norma ISO 50001:2011.

Ao longo da realização da dissertação destacou-se um fator essencial, atualmente o edifício não tem qualquer tipo de olhar crítico sobre os seus consumos de energia, pelo que, as poucas análises energéticas existentes são resultado de teses de mestrado de alunos do departamento ou relatórios realizados no âmbito da certificação energética do edifício. Não existindo esta iniciativa por parte dos próprios órgãos de gestão, a organização do sistema e a definição de estratégias para a implementação do mesmo deve ser o ponto de partida para uma eventual redução dos consumos de energia. Consciencializar a gestão de topo da importância destas matérias é essencial para que se possa desenvolver um trabalho produtivo e com resultados efetivos de melhoria.

Para um bom planeamento do sistema de gestão definiram-se estratégias e exemplos para a análise dos consumos de energia, concluindo-se que em primeiro lugar que, para que esta análise possa ser realizada com rigor e se possa retirar o máximo de informação possível sobre o consumo de energia, a instalação e distribuição de contadores parciais em diversas zonas do edifício e com maior incidência no Bloco de Materiais e Tecnologias, é fundamental e de máxima prioridade. Outra conclusão retirada nesta fase do planeamento do sistema, diz respeito à importância de um *benchmarking* interno, a partir da criação de um histórico de consumos em que seja possível avaliar o desempenho do edifício, em diversos períodos e ainda, comparar resultados mediante a aplicação de medidas de melhoria.

A partir da análise pormenorizada dos consumos de energia, concluiu-se que os principais tipos de energia consumida no edifício são energia elétrica e gás natural. A utilização da energia elétrica destina-se essencialmente aos sistemas de arrefecimento, iluminação e equipamentos, já a utilização de gás natural, ao sistema de aquecimento central (caldeira), equipamentos de confeção da cozinha e equipamentos de laboratório.

A partir da análise dos consumos associados a cada tipo de energia, foram obtidos valores médios anuais de consumo, concluindo-se que o DEM em média consome cerca 321 MWh/ano de gás natural e 324 MWh/ano de eletricidade. Analisando em pormenor o consumo de gás natural percebeu-se que este consumo é maioritariamente associado ao funcionamento da caldeira e portanto, associado ao sistema de aquecimento do edifício entre Novembro e Abril, representando neste período cerca de 92 % do consumo total anual de gás.

Com a monitorização diária dos consumos de gás natural, concluiu-se que o consumo é maioritariamente maior nas primeiras horas de arranque da caldeira (mais de 50 %) do que no restante período diurno.

No que diz respeito ao consumo de eletricidade, verificaram-se variações sazonais da ordem dos 12 % relativamente ao consumo médio mensal de 26991 kWh/mês. O maior consumo de eletricidade corresponde aos meses de Junho e Julho, representando em média, cerca de 9 % do consumo anual. À semelhança do consumo de gás natural, o menor consumo de eletricidade é relativo ao mês de Agosto, embora este, se apresente manifestamente elevado (cerca de 7,5% do consumo anual), tendo em conta que representa um período de encerramento do edifício. A partir da avaliação da influência dos consumos de energia elétrica com a variação ocupacional do edifício, verificou-se que à medida que o número de pessoas existentes no departamento, assim como o número de aulas lecionadas, aumenta, o consumo de energia elétrica aumenta também. Verificou-se também um aumento dos consumos de energia elétrica, tanto diurnos, como noturnos, no período de aulas, relativamente ao período de época de exames, reforçando a conclusão de que a ocupação do edifício e o número de aulas lecionadas influencia o consumo de energia.

Recorrendo ao relatório da auditoria energética do edifício, foram desagregados os consumos de energia com recurso a simulação real e concluiu-se que o maior consumo de energia elétrica está associado aos equipamentos elétricos, seguido do sistema de iluminação. Segundo a mesma simulação, o Bloco de Materiais e Tecnologias é a zona do edifício mais consumidora de energia elétrica, representando cerca de 57% do consumo total.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu Bakar, N., Hassan, M., Abdullah, H., Rahman, H., Abdullah, M., Hussin, F., & Bandi, M. (2015). “Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*”, 44, 1-11. doi:10.1016/j.rser.2014.12.018

Accuweather.com (2015). Condições meteorológicas em março em Coimbra 2015 - Previsão do tempo do AccuWeather para Coimbra Portugal (PT). Acedido a 10 de Abril de 2015, disponível em <http://www.accuweather.com/pt/pt/coimbra/272818/march-weather/272818>

Adene.pt, (2015a). Enquadramento. Acedido a 27 de Abril de 2015, disponível em <http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0>

Adene (2015b). Acedido a 25 de Agosto de 2015, disponível em http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SGCIE/_layouts/SGCIE_ExternalEntities/ConversorSGCIE.aspx

Costa, S. (2014). “Análise Energética de um Edifício Público” Tese de Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética. Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança.

Dascalaki, E., & Sermpetzoglou, V. (2011). “Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools”. *Energy And Buildings*, 43(2-3), 718-727. doi:10.1016/j.enbuild.2010.11.017

Ec.europa.eu, (2015). The 2020 climate and energy package - European Commission. Acedido a 17 de Abril de 2015, disponível em http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm

Ecenter.ee.doe.gov, (2015). eGuide. Acedido a 27 de Abril de 2015, disponível em https://ecenter.ee.doe.gov/_layouts/ecenter/ppc.eguide/home.aspx#

Edpsu.pt, (2015). Origens da Eletricidade. Acedido a 25 de Agosto de 2015, disponível em <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>

EN 16001. (2009). “European Energy Management”; 2009.

Enging, (2015). Energia - Enging. Acedido a 30 de Agosto de 2015,

disponível em <http://enging.pt/energia/>

Gopalakrishnan, B., Ramamoorthy, K., Crowe, E., Chaudhari, S., & Latif, H. (2014). "A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector. Sustainable Energy Technologies And Assessments", 7, 154-165. doi:10.1016/j.seta.2014.04.006

Gul, M., & Patidar, S. (2015). "Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. Energy And Buildings", 87, 155-165. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.027

Hauer, R. (2012). RELATÓRIO DE APOIO À CERTIFICAÇÃO PARA EDIFÍCIOS DE SERVIÇO EXISTENTES. Coimbra.

Iea.org, (2015). IEA - Unit Converter. Acedido a 28 Agosto de 2015, disponível em <http://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/>

ISO 50001:2011. "International standard, energy management systems – requirements with guidance for use. International Organization for Standardization"; 2011.

Jones, P. G., Turner, R. N., Browne, D. W. J., & Illingworth, P. J. (2000). "Energy benchmarks for public sector buildings in Northern Ireland. In Proceedings of CIBSE National Conference", Dublin (pp. 1-8).

Lourenço, P., Pinheiro, M., & Heitor, T. (2014). "From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings". Energy And Buildings, 85, 212-224. doi:10.1016/j.enbuild.2014.09.025

Masoso, O., & Grobler, L. (2010). "The dark side of occupants' behaviour on building energy use. Energy And Buildings", 42(2), 173-177. doi:10.1016/j.enbuild.2009.08.009

Meier, A. (2006). "Operating buildings during temporary electricity shortages. Energy And Buildings", 38(11), 1296-1301. doi:10.1016/j.enbuild.2006.04.008

Ó Gallachóir, B., Keane, M., Morrissey, E., & O'Donnell, J. (2007). "Using indicators to profile energy consumption and to inform energy policy in a university—A case study in Ireland. Energy And Buildings", 39(8), 913-922. doi:10.1016/j.enbuild.2006.11.005

Pereira, L., et al. (2014) "Energy consumption in schools – A review paper."

Renewable and Sustainable Energy Reviews 40, 911-922.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril. Diário da República, 1.ª série, N.º 73.

RSECE (2006) “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios”. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Diário da República – I Série-A. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Silva, N. (2011). “Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente). Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra

Staats, H., van Leeuwen, E., & Wit, A. (2000). “A longitudinal study of informational interventions to save energy in an office building. Journal Of Applied Behavior Analysis”, 33(1), 101-104. doi:10.1901/jaba.2000.33-101

Wang, J. (2012). “A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan. Energy And Buildings”, 49, 268-275. doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.016

ANEXO A – EXEMPLO DE FOLHA DE REGISTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

	Espaço	L	P.D. [W]	I.D.	CCI
Bloco Central - Piso 1	Escadas 1	F1	17	1	IH
	Circulação 1	F1	34	2	CM
	Sala funcionários	F0_60	26	1	CM
	Arrumos 1	F0_60	26	1	CM
	Arrumos 2	F0_60	26	1	CM
	Elevador 1	F0_90	152	4	-
	Garagem	F0_120	1350	30	DM
	Sala SE	F6	180	4	CM
		L3	675	15	CM
		F8	0	0	CM
	Sala SW	F4.1	270	6	CM
		F6	180	4	CM
		F8	30	1	CM
	Circulação 2	F1	51	3	IH
	Posto Transformação	F19	405	9	CM
	Galeria técnica	F0_120	585	13	CM
Chillers	F19	315	7	CM	
Entrada Posterior 1	F2	120	8	IH	
	F3	92	4	IH	
Bloco Central - piso 2	Escadas 1	F1	17	1	IH
	Circulação 3	F1	34	2	IH
		F12.2	102	6	IH
	Anfiteatro II	F13	720	16	CM
	I.S./M	I1.2	11	1	IH
	I.S./F	I1.2	55	5	IH
	Arrumos 3	F0_60	17	1	CM
	Arrumos 4	F0_60	17	1	CM
	UTA_1 (anfiteatro redondo)	F0_120	90	2	CM
	Bar	F12.2	544	31	CM
		I0	610	10	CM
		F14	480	16	CM
Cozinha	F11.1	450	10	CM	

Bloco Central - piso 3	Despensa	F11.1	180	4	CM
	Circulação 4	F9	60	2	IH
		F14	60	2	IH
	Circulação 5	F1	51	3	CM
	Lab. Transmissão Calor	F4.1	1845	41	CM
	Escritório 1	F4.1	45	1	CM
	Lab. Ecologia Industrial	F4.1	495	11	CM
	Sala de Aulas 1	F5.1	675	15	CM
	Escadas Exteriores	F1	51	3	IH
	Caldeiras	F11.1	180	4	CM
	Entrada Posterior 2	F2	30	2	CM
		F3	23	1	CM
	Jardim 1	L9	81	1	IH
	Circulação 6	F1	51	3	IH
	I.S./F	I1.2	22	2	CM
	I.S./M	I1.2	22	2	CM
	Gabinete 1	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 2	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 3	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 4	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 5	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 6	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 7	F4.2	180	4	CM
	Circulação 7	F2	345	23	IH
		F17	0	0	IH
	Escadas Redondas	F1	51	3	IH
	Escritório 2	F0_120	90	2	CM
	Arquivos 1	F0_120	45	1	CM
	La. Mecânica Estrutural I	F1	0	0	CM
F4.1		900	20	CM	
Lab. Prof. Nuno Rilo	F1	0	0	CM	
	F4.1	630	14	CM	
Lab. Mecânica Estrutural II	F1	0	0	CM	
	F4.1	990	22	CM	
Entrada Principal	F1	34	2	IH	
	F10	120	2	IH	
	F15.1	0	0	IH	
Recepção	F5.1	90	2	CM	
	F9	30	14	CM	
Sala Segurança	F5.1	135	3	CM	
	F9	30	1	CM	

Reprografia	F4.1	135	3	CM
	F18	135	3	CM
Contabilidade	F5.1	270	6	CM
Secretaria	F5.1	405	9	CM
	F9	90	3	CM
Arquivos 2	F5.1	315	7	CM
Escadas NE	M2	0	0	IH
Circulação 8	F1	51	3	DM
I.S./F Funcionários	I1.2	33	3	IH
I.S./M Funcionários	I1.2	33	3	IH
Sala funcionários 2	F13	135	3	CM
	L8	116	2	CM
Circulação 9	F1		1	IH
	F12.2		8	IH
	F12.3		3	IH
	F15		3	IH
Auditório	F0_60		1	CM
	F0_120		15	CM
	F12.3		11	CM
	I2.2		25	CM
	I4		14	CM
	I5		4	CM
Sala 3.1	F5.1		12	CM
	F6		3	CM
Sala 3.2	F5.1		13	CM
	F6		3	CM
Sala 3.3	F5.1	585	13	CM
	F6	135	3	CM
Sala 3.4	F5.1	585	13	CM
	F6	135	3	CM
Sala 3.5	F18	585	13	CM
	F6	135	3	CM
Escadas 1	F1	17	1	IH
Anfiteatro I	F0_120	90	2	CM
	I2.2	1464	24	CM
	I4	98	14	CM
I.S./ F	I1.2	22	2	IH
I.S./ M	I1.2	22	2	IH
Arrumos 5	F0_60	26	1	CM
Sala ATM	L5	210	14	IH
Circulação 10	F1	0	0	IH

Bloco central - piso 4		F15	180	6	IH
	I.S./ Deficientes	I1.2	33	3	CM
		F11.1	45	1	CM
	Receção biblioteca	I2.1	610	10	CM
		F12.2	51	3	CM
		F12.3	184	8	CM
		L10	150	1	CM
	Escritórios 3	F5.1	180	4	CM
	I.S./ Comum	I1.3	80	2	CM
	Arrumos 6	F0_120	45	1	CM
	Sala 1	F4.1	315	7	CM
	Arquivos 3	F0_120	270	6	CM
	I.S./ F	I1.2	22	2	CM
	I.S./ M	I1.2	22	2	CM
	UTA_2(anfiteatro redondo)	F0_120	45	1	CM
	Sala 2	F0_120	135	3	CM
	Sala de informática III	F0_120	450	10	CM
	Sala de Grupos 1	F0_120	270	6	CM
	Sala de Grupos 2	F12.2	34	2	CM
		F13	270	6	CM
	Biblioteca	M0	648	8	CM
		F0_120	2340	90	CM
		I2.1	976	16	CM
	Pátio biblioteca	F1	34	2	CM
	Pátio Central	F2	120	8	IC
		F21	216	6	IC
I6		0	0	IC	
Circulação 11	F0_120	765	17	IH	
Gabinete 8	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 9	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 10	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 11	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 12	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 13	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 14	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 15	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 16	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 17	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 18	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 19	F4.2	180	4	CM	
Gabinete 20	F4.2	270	6	CM	

Bloco Sul - piso 1	I.S./ F	I1.2	22	2	CM
	I.S./ M	I1.2	22	2	CM
	Sala reuniões I	F5.1	270	6	CM
	Gabinete técnico	F5.1	270	6	CM
	Comissão executiva	F5.1	270	6	CM
	Comissão pedagógica	F5.1	270	6	CM
	Comissão científica	F5.1	270	6	CM
	Sala reuniões II	F5.1	630	14	CM
	I.S./ M	I1.2	66	6	IH
	I.S./ F	I1.2	66	6	IH
	Circulação 12	F0_120	450	10	IH
		F1	17	1	IH
	Cabine	L6	28	2	CM
		F0_120	90	2	CM
	UTA_3(Biblioteca)	F0_120	45	1	CM
	Sala 6.1	F5.1	1080	24	CM
		F6	180	4	CM
	Sala 6.2	F5.1	1080	24	CM
		F6	180	4	CM
	Sala 6.3	F5.1	1080	24	CM
		F6	180	4	CM
	Sala 6.4	F5.1	1080	24	CM
		F6	180	4	CM
	I.S./ F	I1.2	33	3	IH
	Arrumos 7	F0_60	26	1	CM
	Arrumos 8	F0_60	26	1	CM
	I.S./ M	I1.2	33	3	IH
	Circulação 13	F0_120	135	3	IH
		F1	0	0	IH
	Sala de informática I	F5.2	1710	38	CM
	Sala de informática II	F5.2	2340	52	CM
	Sala de projeto	F5.2	1215	27	CM
		F6	45	1	CM
Sala de desenho	F18	585	13	CM	
	F6	180	4	CM	
Gabinete de informática	F18	765	17	CM	
Varanda	F2	30	2	CM	
	F1	51	5	CM	
Circulação 14	F1	85	1	CM	
	F9	30	1	CM	
	F11.1	45	3	CM	

	F12.1	51	1	CM	
	F12.2	17	23	CM	
	L1	644	7	CM	
Compressor 1	F0_120	315	2	CM	
Elevador 2	L2	56	2	T	
I.S./ F	F11.1	90	0	CM	
	F0_150	0	1	CM	
	I1.3	40	1	CM	
I.S./ Deficientes	F11.1	45	2	CM	
I.S./ M	F11.1	90	0	CM	
	F0_150	0	1	CM	
	I1.3	40	20	CM	
Lab. Clima. Ambiente I	M3	1620	2	CM	
	F5.1	90	6	CM	
Lab. Clima. Ambiente II	F5.1	270	24	CM	
Lab. Termodinâmica	M3	1944	7	CM	
Sala de reuniões III	F5.1	315	9	CM	
Gabinete 21	F4.1	405	24	CM	
Lab. Mec. Fluidos I	F4.1	1080	2	CM	
Compressor 2	F4.1	90	8	CM	
Escritório 4	L4	208	8	CM	
Escritório 5	L5	208	35	CM	
Lab. Mec. Fluidos II	F4.1	1575	6	CM	
Armazém	F0_120	270	18	CM	
	F4.1	810	5	CM	
Pátio	F3	115	0	CM	
Bloco Sul - piso 2	Alpendre	F1	0	2	CM
	Espaço técnico	F0_120	90	11	CM
	Circulação 15	F0_120	495	4	IH
		F1	68	13	CM
		F12.1	221	4	CM
	Gabinete 22	F4.2	180	2	CM
	I.S./ F	I1.1	124	2	CM
	I.S./ M	I1.1	124	2	CM
	Arquivos 4	F12.2	34	4	CM
	Gabinete 23	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 24	F4.2	180	3	CM
	Gabinete 25	F4.2	135	4	CM
	Gabinete 26	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 27	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 28	F4.2	180	4	CM

Bloco Mat & Tec - piso 2	Gabinete 29	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 30	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 31	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 32	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 33	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 34	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 35	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 36	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 37	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 38	F4.2	180	4	CM
	Gabinete 39	F4.2	180	4	CM
	Secretariado	F4.2	360	8	CM
	Terraço	F2	60	4	IH
		F3	23	1	IH
		M4	0	0	CM
	Estacionamento exterior	L7	561	33	IH
Entrada SE	F3	46	2	CM	
Lab. Const. Mecânicas	F4.1	1305	29	CM	
Sala de Testes 1	F4.1	900	20	CM	
Sala de Testes 2	F11.1	180	4	CM	
Circulação 16	F12.1	170	10	CM	
Central hidráulica	F11.1	180	4	CM	
S.E.M	F4.1	270	6	CM	
Sala didática	F4.1	270	6	CM	
Sala de Testes 3	F4.1	450	10	CM	
Estudantes pós-graduação	F4.1	990	22	CM	
Gabinete 40	F4.1	270	6	CM	
Escadas NE	F1	17	1	CM	
Jardim 2	F2	120	8	CM	
	F3	92	4	CM	
	F10	60	2	CM	
	L7	136	8	IH	
Entrada SW	F3	46	2	CM	
Oficinas	F11.1	2475	55	CM	
Circulação 17	F12.2	153	9	CM	
Seção dos materiais	F11.1	630	14	CM	
Escritórios 6	F4.1	270	6	CM	
Seção de soldadura	F11.1	585	13	CM	
Lab. Nanopartículas I	F11.1	180	4	CM	
Lab. Nanopartículas II	F11.1	225	5	CM	
	F4.1	135	3	CM	

Bloco Mat & Tec - piso 3	Casa das máquinas	F0_120	45	1	CM
	Elevadores 3	L2	56	2	T
	Escadas NW	F1	17	1	CM
	Entrada NW	F2	30	2	CM
		F3	69	3	CM
	Entrada NE	F3	23	1	CM
	Circulação 18	F1	34	2	CM
		F9	30	1	CM
		F10	60	2	CM
		F12.2	34	2	CM
		F14	180	6	CM
	Escadas NE	F0_120	90	2	CM
	Escritório 7	F0_120	180	4	CM
	Gabinete 41	F4.1	360	8	CM
	Sala de Polimento	F11.1	45	1	CM
		I1.2	44	4	CM
	I.S./ Comum	F11.1	45	1	CM
		I1.2	11	1	CM
	Lab. Tratamento Térmico	F4.1	630	14	CM
	Gabinete 42	F4.1	630	14	CM
Lab. Análises Térmicas	F4.1	495	11	CM	
Microsonda Eletrónica	F4.1	450	10	CM	
Lab. Revestimentos Finos	F4.1	810	18	CM	
	F1	17	1	CM	
Entrada NW	F3	23	1	CM	
Circulação 19	F1	34	2	CM	
	F9	30	1	CM	
	F10	60	2	CM	
	F12.2	34	2	CM	
	F14	180	6	CM	
Escadas NW	F0_120	90	2	CM	
I.S./ M	I1.2	44	4	CM	
I.S./ F	I1.2	44	4	CM	
Sala de informática	F18	450	10	CM	
Gabinete investigação I	F4.1	630	14	CM	
Sala de aulas 2	F5.1	630	14	CM	
Gabinete investigação II	F4.1	180	4	CM	
Gabinete 43	F4.1	180	4	CM	
Gabinete 44	F4.1	180	4	CM	
Sala de reuniões IV	F4.1	180	4	CM	
Lab. Ensaios Mecânicos	F11.1	540	12	CM	

Bloco MAT & Tec - piso 4	Gabinete investigação III	F11.1	675	15	CM
		F1	17	1	CM
	Entrada NE	F3	23	1	CM
	Circulação 20	F0_120	90	2	CM
		F1	17	1	CM
		F9	30	1	CM
		F10	120	4	CM
		F12.2	68	4	CM
	Lab. Robótica	F11.1	1485	33	CM
		F11.2	78	3	CM
	Sala Pós-graduação	F4.1	225	5	CM
	Entrada NW	F3	23	1	CM
	Escritório 8	F18	225	58	CM
	Escritório 9	F18	270	6	CM
Lab. Gestão	F18	900	20	CM	

APÊNDICE A – EXEMPLO DE CARTA DE COMPROMISSO DE GESTÃO

POLÍTICA ENERGÉTICA E CARTA DE COMPROMISSO

O Departamento de Engenharia Mecânica, integrado na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, vem por este meio informar a todas as partes interessadas, o conhecimento e comprometimento com a implementação do Sistema de Gestão de Energia. Pretende-se desta forma, disponibilizar os recursos necessários à implementação e bom funcionamento do mesmo, contribuindo para uma melhoria contínua do desempenho energético do edifício.

O nosso compromisso consiste essencialmente nos seguintes pontos:

- Dirigir esforços e recursos na área da gestão energética;
- Ter em consideração a eficiência energética na aquisição ou substituição de novos equipamentos ou sistemas consumidores de energia;
- Colaborar na comunicação interna e externa nos assuntos relacionados com o Sistema de Gestão de Energia;
- Contribuir e incentivar a revisão e melhoria contínua do Sistema.

São ainda reconhecidos os benefícios energéticos, económicos e ambientais da integração do sistema no funcionamento do edifício, tais como:

- Distinção e reconhecimento externo, associado às preocupações ambientais, metas legislativas no setor da energia e contribuição para o desenvolvimento sustentável;
- Redução direta dos custos energéticos;
- Conhecimento sobre os consumos de energia do edifício;
- Facilidade na deteção de problemas e desperdícios de energia.

Coimbra, Setembro de 2015

[Assinatura do(s) representante(s) da administração]

APÊNDICE B – POSTER INFORMATIVO DE CONSUMO ENERGÉTICO DO DEM

SABIA QUE EM MÉDIA, O DEM É RESPONSÁVEL POR UMA EMISSÃO DE **104,87 TONELADAS DE DIÓXIDO DE CARBONO POR ANO PARA A ATMOSFERA ??**

E VOCÊ PODE SER RESPONSÁVEL POR UMA EMISSÃO DE **119 QUILOGRAMAS DE DIÓXIDO DE CARBONO POR ANO??**

Em média, todos os anos, o edifício do DEM consome cerca de **324 MWh** de energia elétrica e **321 MWh** de gás natural, o que resulta no custo total anual de **57932 €**



Se assumirmos que cada utilizador tem a mesma influência no consumo de energia, cada utilizador do DEM por ano é responsável pelo consumo de **730 kWh** e pela emissão de **119 quilogramas de dióxido de carbono.**

No sentido de tornar o DEM um exemplo de sustentabilidade e eficiência, cada um de nós representa um potencial de melhoria, podendo assumir uma atitude mais responsável e consciente no que toca ao consumo energético.

Algumas pequenas atitudes poderão contribuir significativamente para a redução do consumo:

- **Baixar a temperatura 2 graus no Inverno e subir 2 graus no Verão** poderá reduzir significativamente o consumo de energia;
- Certifique-se que os **equipamentos** que utiliza como, computadores, monitores, sistemas de climatização, **são desligados** sempre que não sejam utilizados por menos de 1 hora;
- Sempre que possível, utilize a **iluminação natural**;

APÊNDICE C – EXEMPLO DE FOLHA DE REGISTO DE CONSUMOS DE GÁS NATURAL

Folha de Registo de Consumos – Gás

Dia	Contagem no início do dia		Contagem no final do dia		Observações
	Contagem [m ³]	Hora	Contagem [m ³]	Hora	