FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Análise da Eficiência Energética numa unidade de Ensino Hoteleiro

Luís Diogo de Lima Coelho e Teixeira Cagigal

PARA APRECIAÇÃO POR JÚRI

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-Orientador: Engenheiro Tiago Daniel Moreno Fernandes

27 de Janeiro de 2020

© Luís Diogo de Lima Coelho e Teixeira Cagigal, 2020

Resumo

O desenvolvimento da sociedade global originou o surgimento de uma série de questões até então desprezadas, nomeadamente no que toca ao setor elétrico e à sustentabilidade ambiental. Cada vez mais, a nível mundial, se determina como imperativo, a redução do consumo de energia e a diminuição do desperdício energético. Um dos maiores desafios assenta sobre a eficaz gestão dos recursos disponíveis de forma a melhorar o uso das fontes de energia e a reduzir o impacto ambiental.

A presente dissertação permite estudar a viabilidade da incorporação de medidas de eficiência energética e da qualidade da energia, a instalação de novos equipamentos e a redução do consumo e da fatura elétrica.

Para isso, procedeu-se a uma análise tarifária da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, de forma a avaliar a possibilidade de diminuição dos custos, bem como o levantamento e estudo dos equipamentos instalados. Verificaram-se as condições de iluminação, dos sistemas AVAC e da qualidade da energia disponível. Foram também verificadas as condições dos equipamentos existentes, para aferir se apresentam o melhor funcionamento possível ou se será necessária a implementação de melhorias. No fim do estudo, é analisado o investimento global e o seu retorno, tal como as melhorias a implementar, tendo em conta as necessidades do edifício.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Qualidade da Energia Elétrica, Iluminação, Climatização, Tarifas Energéticas, Edifício Escolar

Abstract

The development of global society led to the outbreak of a series of questions that were devalued until then, in particular in regard to the eletric sector and environmental sustainability. In respect to wordclass level, it is determined, as imperative, the reduction of energy's consumption and the decrease of energetic waste. Nowadays, one of the biggest challenges reflects upon the efficient management of the available resources, in a way that the energy sources are enhanced and the environmental impact is reduced.

This thesis allows the study of the feasibility of the incorporation of energetic efficiency and quality of energy policies, the installation of new equipments, the reduction of consumption and eletric bill.

To this end, it was made a tariff analysis to the Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, to understand if it was possible a cost reduction, as well an assessment of the equipments already instaled. Besides that, lightning conditions, AVAC systems and energy quality were examined and tested. Additionally, the existent equipment's condition were verified to determine if they have the best performance or can be improved with the implementation of upgrades. To finish the study, the global investment is analysed, as well as the value of finacial return.

Keywords: Energy Efficiency, Power Quality, Lightning, Climatization, Eletricity Tariffs, School Building

Agradecimentos

A presente dissertação, que corresponde ao meu último capítulo do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Faculdade de Engenharia do Porto, conta com uma importância averbada pela sua posição como marco final. A sua realização contou com o apoio de uma série de pessoas, sem as quais, o trabalho não teria sido viável, pela falta de oportunidade, orientação e apoio.

Destaco o convite do Senhor Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura para realizar a minha tese como seu orientando em parceria com a Manvia. Agradeço todo o apoio, responsabilidade e confiança que me foi depositada durante o trabalho realizado.

Ao meu co-orientador, Sr. Engenheiro Tiago Daniel Moreno Fernandes que teve um papel fundamental na minha orientação no terreno, com toda a disponibilidade e atenção, bem como incentivo para que a dedicação e o brio se demonstrassem na versão final.

Ao Sr. Engenheiro Diogo Teixeira, responsável pelos projetos na Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, que me acompanhou em todas as visitas, me apoiou em todas as medições realizadas e me permitiu ter uma visão clara do quotidiano de um engenheiro.

Ao Sr. Joel e ao Sr. Victor, técnicos responsáveis pela manutenção do edifício que demonstraram total disponibilidade para me esclarecer nas diversas questões que foram fruto do estudo.

Por fim, a todos os que me acompanharam ao longo desta jornada e que tiveram a devida importância no meu desenvolvimento pessoal e profissional. À minha família, amigos, colegas e professores, um sincero obrigado.

Luís Diogo de Lima Coelho e Teixeira Cagigal

"Ever Tried.
Ever Failed.
No Matter.
Try Again.
Fail Again.
Fail Better."

Samuel Beckett

Conteúdo

1 Introdução **1**
- 1.1 Objetivos . . . 3
- 1.2 Estrutura . . . 3
- 1.3 Escola de Hotelaria e Turismo Do Porto . . . 4
- 1.4 *Software* e Equipamentos Utilizados . . . 5
- 1.5 Manvia . . . 5

2 Evolução do Contexto Energético **9**
- 2.1 Nível Internacional . . . 9
- 2.2 Nível Nacional . . . 12
- 2.3 Sustentabilidade . . . 16

3 Qualidade da Energia Elétrica **23**
- 3.1 Desequilíbrio de Tensão . . . 24
- 3.2 Cavas de Tensão . . . 25
- 3.3 Variações Rápidas de Tensão . . . 26
- 3.4 Sobretensões . . . 26
- 3.5 Oscilação de Frequência . . . 28
- 3.6 Fator Potência e Energia Reativa . . . 29
- 3.7 Poluição Harmónica . . . 33
  - 3.7.1 Caracterização de Harmónicos . . . 33
  - 3.7.2 Taxa de Distorção Harmónica (THD) . . . 35
  - 3.7.3 Filtros Harmónicos . . . 35

4 Iluminação **41**
- 4.1 Grandezas consideradas na iluminação . . . 41
  - 4.1.1 Fluxo Luminoso . . . 41
  - 4.1.2 Intensidade Luminosa . . . 42
  - 4.1.3 Iluminância . . . 42
  - 4.1.4 Luminância . . . 43
- 4.2 Lâmpadas . . . 44
  - 4.2.1 Características das Lâmpadas . . . 44
  - 4.2.2 Lâmpadas Incandescentes . . . 45
  - 4.2.3 Lâmpadas de Descarga . . . 46
  - 4.2.4 Lâmpadas de indução . . . 51
  - 4.2.5 Lâmpadas LED . . . 52
- 4.3 Comparação de tipo de Lâmpadas . . . 53
  - 4.3.1 Rendimento Luminoso . . . 54

4.3.2 Classes de Eficiência . . . 55
4.4 Balastros . . . 56
4.4.1 Balastros Eletrónicos . . . 56
4.5 Luminárias . . . 57
4.6 Gestão da Iluminação . . . 57
4.6.1 Gestão Horária . . . 57
4.6.2 Zonagem . . . 58
4.6.3 Deteção de Presença ou Movimento . . . 58
4.6.4 Gestão de acordo com a Luz Natural . . . 58
4.6.5 Centralização da Gestão . . . 59

5 Sistemas AVAC **61**
5.1 Equipamentos de Sistemas de AVAC . . . 61
5.1.1 Compressor . . . 62
5.1.2 Bomba . . . 62
5.1.3 Ventilador . . . 63
5.1.4 Bomba de Calor . . . 63
5.1.5 Permutador de Calor . . . 64
5.1.6 Condensador . . . 64
5.1.7 Recuperador . . . 65
5.1.8 Evaporador . . . 65
5.1.9 Depósito de Acumulação . . . 66
5.1.10 Caldeira . . . 66
5.1.11 Unidade de Produção de Água Refrigerada . . . 66
5.1.12 Unidade de Tratamento de Ar . . . 67
5.1.13 Válvulas . . . 67
5.1.14 Equipamentos de Controlo e Gestão . . . 68
5.2 Caracterização e Classificação de Sistemas AVAC . . . 69
5.2.1 Sistemas Unitários . . . 69
5.2.2 Sistemas Divididos . . . 69
5.2.3 Sistemas de Zona . . . 69
5.2.4 Sistemas Centralizados . . . 69

6 Tarifários **71**
6.1 Evolução do Sistema Tarifário no Setor Elétrico . . . 71
6.2 Tarifários em Portugal . . . 72
6.2.1 Componentes de Tarifas . . . 72
6.2.2 Períodos dos tarifários . . . 73
6.2.3 Ciclos Horários . . . 74
6.3 Tarifa Transitória de Venda a Clientes Finais . . . 76

7 Caso de Estudo **79**
7.1 Descrição e Caracterização do Local . . . 80
7.2 Análise Tarifária da Fatura Energética . . . 81
7.3 Qualidade da Energia . . . 83
7.3.1 Tensão nas Fases . . . 85
7.3.2 Equilíbrio de Tensão e Corrente . . . 86
7.3.3 Energia Reativa e Fator Potência . . . 88
7.3.4 Frequência . . . 91

7.3.5 Poluição Harmónica 91
7.4 Iluminação 99
7.4.1 Espaços 100
7.4.2 Qualidade da Iluminação 102
7.4.3 Soluções Analisadas 104
7.5 AVAC 105
7.5.1 Equipamentos Existentes 105

8 Conclusões e Trabalho Futuro **109**
8.1 Faturação Elétrica 109
8.2 Qualidade da Energia 109
8.3 Iluminação 110
8.4 AVAC 111
8.5 Continuação do Projeto 111

A Certificados de Qualidade dos Equipamentos **113**
A.1 Certificado de Calibração do Analisador de Redes 113
A.2 Certificado de Calibração do Luxímetro 114

B Divisões da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto **117**

Referências **121**

Lista de Figuras

1.1 Consumo Energético Mundial entre 1970 e 2015 (Expresso em kWh per capita) . 1
1.2 Evolução do Balanço Energético Nacional entre 2005 e 2017 2

2.1 Densidade populacional mundial em 2019 (pessoa/km^2) 10
2.2 População projetada desde 1900 até 2100 10
2.3 Consumo de energia mundial por região 11
2.4 Consumo de Energia de 1800 a 2017 11
2.5 Dependência energética nacional de 2005 a 2017 12
2.6 Dependência energética percentual na Europa em 2016 13
2.7 Produção elétrica por fonte em Portugal continental de 2000 a 2018 14
2.8 Consumo de energia primária em Portugal continental 14
2.9 Intensidade energética dos países Europeus em 2016 [tep/milhão de PIB] 15
2.10 Intensidade energética em Portugal 15
2.11 Intensidade da emissão de GEE relativamente ao consumo energético em Portugal e na União Europeia 16
2.12 Diagrama dos princípios do desenvolvimento sustentável 17
2.13 Estratégia Legislativa para Ação Climática 20

3.1 Exemplo de perturbações na rede 24
3.2 Exemplo de uma Cava de Tensão [tensão(%)/tempo] 25
3.3 Exemplo de efeito Flicker (tensão/tempo) 27
3.4 Triângulo de Potências 29
3.5 Diferença na forma de onda para cargas lineares e não lineares 34
3.6 Onda de tensão original e respetivos harmónicos 34
3.7 Onda de tensão deformada 34
3.8 Exemplo de um espetro harmónico em relação à sua componente fundamental . . 35
3.9 Exemplo de filtro ativo em série 37
3.10 Exemplo de filtro ativo paralelo 37
3.11 Exemplo de filtro ativo híbrido 38
3.12 Exemplo de filtro universal 38
3.13 Exemplo de filtro passivo 39

4.1 Representação física de Grandezas de Iluminação 42
4.2 Representação de um Fluxo Luminoso 42
4.3 Exemplo de um diagrama fotométrico sobre uma fonte luminosa 43
4.4 Iluminância 43
4.5 Luminância 44
4.6 Escala de Temperatura de Cor 44
4.7 Lâmpada Incandescente de Filamento 46

4.8 Lâmpada de Halogéneo . . . 46
4.9 Lâmpada de Descarga . . . 47
4.10 Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio a alta pressão . . . 48
4.11 Constituição de uma lâmpada de luz mista . . . 48
4.12 Constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão . . . 49
4.13 Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos . . . 49
4.14 Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão . . . 50
4.15 Lâmpada fluorescente tubular . . . 51
4.16 Lâmpada fluorescente compacta . . . 51
4.17 Lâmpada de indução . . . 52
4.18 Lâmpadas LED . . . 52
4.19 Rendimento médio em cada tipo de Lâmpada . . . 54
4.20 Etiqueta de Eficiência Energética . . . 55
4.21 Exemplo de uma arquitetura de gestão centralizada de iluminação . . . 59

5.1 Exemplo de um sistema AVAC . . . 61
5.2 Compressor de Parafuso . . . 62
5.3 Bomba radial centrífuga . . . 63
5.4 Ventilador de um sistema AVAC . . . 63
5.5 Bomba de Calor . . . 64
5.6 Permutador de Calor . . . 65
5.7 Recuperador de um sistema AVAC . . . 65
5.8 Depósito de acumulação . . . 66
5.9 Unidade de Produção de Água Refrigerada . . . 67
5.10 Unidade de Tratamento de Ar . . . 68
5.11 Exemplo de válvula utilizada . . . 68

6.1 Tarifa de Energia em 2020 . . . 73
6.2 Tarifa de Comercialização para AT e MT em 2020 . . . 73
6.3 Tarifa de acesso às redes MT para 2020 . . . 74
6.4 Ciclo Semanal em Portugal continental . . . 75
6.5 Ciclo Semanal Opcional em Portugal continental . . . 75
6.6 Ciclo Diário em Portugal continental . . . 76
6.7 Tarifas transitórias de venda a clientes finais em MT em 2020 . . . 77

7.1 Vista aérea da Escola de Turismo e Hotelaria do Porto . . . 79
7.2 Localização da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto . . . 80
7.3 Vista exterior da EHTP . . . 80
7.4 Consumo de Energia Ativa anual por horário . . . 82
7.5 Analisador de rede utilizado - Fluke 435 . . . 83
7.6 Exemplo de esquema de montagem do analisador . . . 84
7.7 Analisador instalado no QGBT da EHTP . . . 84
7.8 Evolução da tensão nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT 85
7.9 Evolução da tensão nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 85
7.10 Evolução da corrente nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 86
7.11 Evolução da corrente no neutro durante o intervalo de tempo de medição no QGBT 86

7.12 Evolução da corrente nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 87
7.13 Evolução da corrente no neutro durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 88
7.14 Evolução do fator potência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . 88
7.15 Evolução do fator potência durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 89
7.16 Evolução da tangente de phi durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . 89
7.17 Evolução da tangente de phi durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 90
7.18 Bateria de Condensadores instalada na EHTP . . . 90
7.19 Evolução da frequência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 91
7.20 Evolução da frequência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 91
7.21 Evolução da THDu nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT 92
7.22 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 92
7.23 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 93
7.24 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 93
7.25 Evolução da THDu nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 94
7.26 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC . . . 94
7.27 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC . . . 95
7.28 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC . . . 95
7.29 Evolução da THDi nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT 96
7.30 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 97
7.31 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 97
7.32 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT . . . 98
7.33 Evolução da THDi nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC . . . 98
7.34 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 98
7.35 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 99
7.36 Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC . . . 99
7.37 Luxímetro HT307 utilizado no estudo . . . 100
7.38 Vista superior UTAs EHTP . . . 106
7.39 Vista inferior UTAs EHTP . . . 106
7.40 *Software* de Gestão Centralizada de AVAC . . . 107
7.41 Caldeira dedicada à escola . . . 107

7.42 Caldeira dedicada à escola 108

Lista de Tabelas

3.1 Escalão de Faturação da Energia Reativa 30

4.1 Classificação de acordo com o Índice de Reprodução Cromática 45
4.2 Comparação entre os tipos de lâmpada analisados 53
4.3 Rendimentos relativos a cada tipo de lâmpada 54

7.1 Tarifário aplicado pela Galp Energia atualmente em vigor na EHTP 81
7.2 Consumo anual de energia ativa e preços associados 82
7.3 Comparação de preço final entre tarifários disponíveis 83
7.4 Percentagem máxima em relação à tensão fundamental nos harmónicos estudados 93
7.5 Limites de distorção dos harmónicos de corrente 95
7.6 Níveis de iluminância mínima por atividade 103
7.7 Iluminância requisitadas para espaços com atividades dedicadas, segundo a norma EN 126464-1 103

B.1 Divisões do piso -2 da EHTP 117
B.2 Divisões do piso -1 da EHTP 118
B.3 Divisões do piso 0 da EHTP 119
B.4 Divisões do piso 1 da EHTP 120
B.5 Divisões do piso 2 da EHTP 120

Abreviaturas e Símbolos

AC	Corrente Alternada
AT	Alta Tensão
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AVACR	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado e Refrigeração
BT	Baixa Tensão
BTe	Baixa Tensão Especial
BTn	Baixa Tensão Normal
CC	Corrente Contínua
CDM	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism)
CRI	Cromatic Reproduction Index
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EE	Estações Elevatórias
EHTP	Escola de Turismo e Hotelaria do Porto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais e Infetadas
FEE	Fundo de Eficiência Energética
FP	Fator de Potência
GEO	Global Environment Outlook
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GTC	Gestão Técnica Centralizada
HVAC	Heat, Ventilation and Air Conditioning
IRC	Índice de Reprodução Cromática
JI	Mecanismo de Implementação Conjunta (Joint Implemention)
KP	Protocolo de Quioto (Kyoto Protocol)
LED	Light Emitting Diode (Díodo Emissor de Luz)
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
OLMC	Operação Logística de Mudança de Comercializador
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
PNI	Plano Nacional de Investimento
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RCM	Resolução do Conselho de Ministros
RNC	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SI	Sistema Internacional
TC	Tarifa de Comercialização
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
THD	Taxa de Distorção Harmónica
TIM	Técnico de Instalação e Manutenção
TREIE	Técnico Responsável pela Exploração de Instalações Elétricas
TRSCIE	Técnico Responsável pela Segurança Contra Incêndios em Edifícios
UE	União Europeia
UGS	Uso Global do Sistema
UN	Nações Unidas (United Nations)
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change)
UPAR	Unidade de Produção de Água Refrigerada
URD	Uso da Rede de Distribuição
URT	Uso da Rede de Transporte
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VAC	Volume de Ar Constante
VAV	Volume de Ar Variável
VEV	Variador Eletrónico de Velocidade

Capítulo 1

Introdução

Nos dias de hoje, assiste-se a uma aplicação e investigação de fontes de energia renovável sem precedentes. Cada vez mais a produção de energia tem vindo a aumentar no segmento renovável em detrimento das fontes clássicas. Esta crescente preocupação originou uma mudança de paradigma, que leva a população a repensar as aplicações energéticas atuais, relacionando-as com os impactos ambientais, o desperdício energético, bem como a qualidade e eficiência da energia [1].

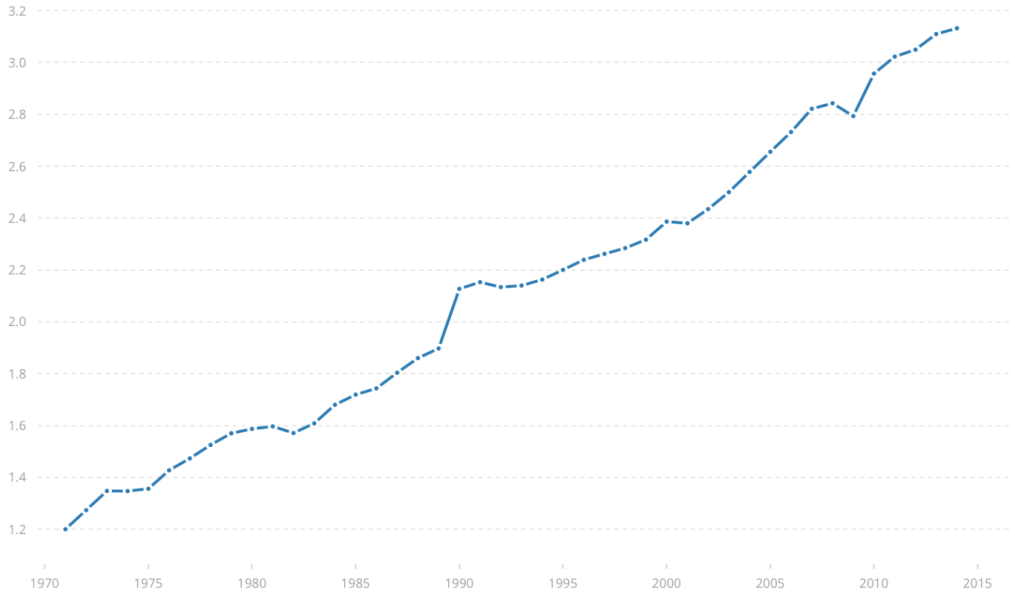


Figura 1.1: Consumo Energético Mundial entre 1970 e 2015 (Expresso em kWh per capita)

Como se pode ver na figura 1.1, o consumo energético mundial tem aumentado a uma velocidade exponencial. O crescimento da população e a dependência energética em todas as atividades industriais e pessoais, leva a uma necessidade de produção sem paralelo. De acordo com um relatório das Nações Unidas, expecta-se que a população atual de 7,2 mil milhões cresça para 9,6 mil milhões até 2050 [2].

No caso nacional, uma vez que Portugal é ainda bastante dependente de importação energética, visto que não possui largos recursos energéticos de origem fóssil, este segmento apresenta grande peso na sua economia, sendo necessária a sua redução.

Medidas que garantam o mais elevado nível de eficiência possível, devem ser transversais a todas as fases de produção, transformação, distribuição e consumo de energia. Medidas estas que otimizam a utilização da energia, mantendo o mesmo nível de desempenho associado a menores consumos.

A sua boa gestão está diretamente interligada com os consumidores finais, que deverão complementar o seu comportamento com tecnologias e processos adequados, que se traduzirão numa redução de consumos e consequentemente de custos.

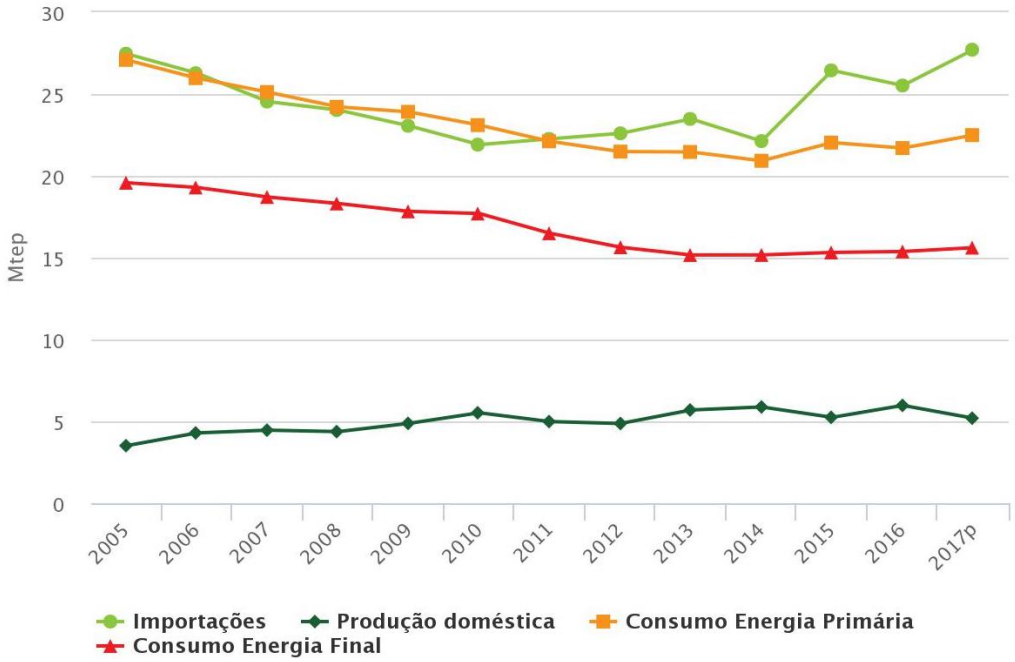


Figura 1.2: Evolução do Balanço Energético Nacional entre 2005 e 2017

A União Europeia depara-se com uma série de desafios que em muito dependem do domínio da energia. Tópicos como a dependência de importação, que pode ser analisado na figura 1.2, alterações climáticas, crescente procura energética, eficiência energética e energias renováveis levaram à necessidade de criação de medidas sustentáveis no setor energético. Desde 2014, que a política atual é regida pela política climática e energética adotada pelo Conselho Europeu, com o objetivo de, até 2030, se atingir: [3]

- diminuição em 40% da emissão dos gases com efeito estufa, em comparação com os valores de 1990;
- aumento de 27% na quota-parte do consumo energético referente às energias renováveis;
- melhoria de 20% a 30% na eficiência energética;

- interligação, no mínimo de 15%, das redes elétricas da UE.

O plano de ação do Parlamento Europeu referente à eficiência energética, surge de forma a mobilizar a população neste mercado, tornando os sistemas, os edifícios e os produtos mais eficientes. Denota-se como seu objetivo fundamental a redução e o controlo da procura energética, surgindo medidas concretas para o seu fornecimento e consumo [4].

Dessa forma, é fácil perceber a necessidade de uma correta gestão dos ativos energéticos, tal como de uma eficiente aplicação desses mesmos recursos.

1.1 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar e avaliar medidas de eficiência energética e a qualidade da energia na Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, de forma a melhorar o que já se encontra aplicado e propor novas alternativas, tendo em conta o espaço disponível. Assim, ambiciona-se a maior redução possível de custos, sem perda da qualidade do serviço.

Considerando as condições do serviço disponível, visa-se a diminuição do consumo energético e consequentemente da fatura energética. Após desenvolvimento e análise das propostas, é estudado o retorno da implementação das mesmas, procedendo-se à análise de viabilidade do projeto e comparando as melhorias de eficiência energética com o investimento inicial necessário.

O estudo do projeto divide-se nos seguintes pontos:

- Análise da fatura energética atual da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, comparando-a com propostas de diferentes comercializadores de energia, concluindo se pode haver uma alternativa economicamente benéfica para o consumo que apresenta;

- Levantamento e análise dos sistemas de iluminação instalados no edifício. Realização de um estudo luminotécnico da presente instalação e medição dos valores em espaços com diferentes tipologias com a utilização de um luxímetro, para que possam ser comparados com os valores recomendados pelas normas;

- Identificação e análise dos sistemas AVAC instalados nos diferentes espaços, estudando, posteriormente a sua eficiência;

- Análise da qualidade de energia da EHTP, a partir de medições nos quadros gerais, da verificação da poluição harmónica existente, e da análise das potências reativa e ativa, identificando os picos de energia e a existência de eventuais sobrecargas.

1.2 Estrutura

Esta dissertação é composta por um total de 8 capítulos, seguidos por anexos e referências fulcrais ao desenvolvimento da dissertação.

No capítulo 1, o tema é abordado através de uma curta introdução, contextualizando o projeto. Para além disso, retrata os objetivos do trabalho desenvolvido, as suas ferramentas e apresenta de forma breve a empresa com a qual o estudo foi feito, bem como o cliente final.

No capítulo 2, por sua vez, é feita uma contextualização do projeto em relação à evolução do panorama energético nacional e global ao longo dos últimos anos.

Os capítulos 3, 4 e 5 abordam temas de necessidade imperativa para que o estudo possa ser corretamente efetuado e acrescente valor no seu final. São analisados a qualidade da energia elétrica, os sistemas de iluminação e os sistemas AVAC da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto.

No capítulo 6, é feito um estudo das tarifas de energia de elétrica em Portugal, com uma breve introdução do sistema atual, seguindo-se a análise das características associadas ao tema, especificando as parcelas e valores que perfazem o seu cálculo.

O capítulo 7 é referente ao caso de estudo, ou seja, ao projeto desenvolvido no edifício. São discriminados e explicados todos os processos referentes às análises de iluminação, AVAC e qualidade de energia, com o objetivo de aumentar a eficiência energética e diminuir os consumos. É também feita uma análise tarifária das faturas, para verificar a possibilidade de redução da mesma.

Por último, o capítulo 8 faz referência a projetos futuros que possam estar associados à eficiência energética na EHTP, funcionando como uma continuação do trabalho presente nesta dissertação, explorando certas características de uma forma mais profunda e exaustiva.

1.3 Escola de Hotelaria e Turismo Do Porto

A escola de Hotelaria e Turismo do Porto (EHTP), opera na área de formação para o setor de hotelaria e turismo desde 1969. Oferece uma série de cursos e formações contínuas de alta qualidade, garantindo a qualidade e eficiência nos serviços prestados em diversas empresas nacionais e internacionais.

De entre a formação disponível, são de destacar os seguintes cursos:

- Turismo Cultural e do Património;
- Gestão de Turismo;
- Gestão e Produção de Cozinha;
- Gestão e Produção de Pastelaria;
- Gestão de Restauração e Bebidas;
- Gestão Hoteleira e Alojamento;
- *Hospitality Operations Management*;
- *Culinary Arts*.

Devido ao crescente desenvolvimento do Turismo em Portugal, a EHTP disponibiliza ainda cursos de readaptação e reconversão de profissionais para as áreas ligadas a este setor [5].

Para além da formação disponibilizada, a escola fornece serviços internos e externos, designadamente: um restaurante pedagógico, catering, aluguer de diversos espaços adaptados às necessidades associadas ao setor, workshops e alojamento local.

Atualmente, funciona na antiga Escola de Artes Decorativas de Soares dos Reis (desde 2010), com morada na Rua da Firmeza, 71, 4000-228, Porto.

1.4 *Software* e Equipamentos Utilizados

A realização dos estudos desta dissertação foram auxiliados por diversos *softwares*, que permitiram a fluidez do trabalho, bem como a rápida análise dos resultados, do quais se destacam:

- **Microsoft Excel**: utilizado para obtenção de gráficos e cálculos necessários;
- **Microsoft Office**: utilizado para escrita em rascunho e organização estrutural da dissertação;
- **Overleaf**: escrita da versão final da tese em Latex através da plataforma.
- **Autocad**: consulta das plantas da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto;
- **Fluke Powerlog**: extração dos dados do analisador de rede para o computador, tansformando o ficheiro em texto e posteriormente em excel.

Para a realização das medições feitas na EHTP, para posterior análise de dados, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- **Analisador de Rede**: modelo Fluke 435. Utilizado para recolha de dados da rede no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) e no Quadro Geral AVAC;
- **Luxímetro**: modelo HT307. Utilizado para medição dos lúmen nas diversas divisões estudas.

1.5 Manvia

Apresentando o desenvolvimento do negócio da manutenção como objetivo, a Manvia iniciou a sua atividade em 1998. A sua integração no Grupo Mota-Engil deu-se em 2002, permitindo uma expansão e impacto da sua atividade. Em 2005, a empresa tornou-se numa sociedade anónima focando a sua atividade na prestação de serviços nas áreas da energia, do ambiente, da indústria e da manutenção de edifícios.

Com projetos nacionais e internacionais, ambiciona ser uma referência nos mercados em que se insere, fruto da competência e capacidade de resolução de problemas, o que justifica a consolidação desses mesmos mercados e a crescente fidelização de clientes. Conta com mais de 600 colaboradores e projetos em Portugal, como no exterior [6].

Apresenta oito principais áreas de negócio e atuação [7]:

Gestão: Onde desenvolve áreas como auditorias de manutenção, gestão de ativos, implementação de software e indicadores de gestão de manutenção, definição de procedimentos, inspeção de equipamentos, elaboração de planos de orçamentação e investimento, bem como gestão de *stocks* de armazéns, compras e aprovisionamentos [8].

Edifícios: Apresenta uma série de serviços especializados como gestão e manutenção de instalações elétricas, AVAC, águas e esgotos, presta também apoio na gestão de contratos externos, na conceção, implementação e auditoria de programas de manutenção. Para além disso, disponibiliza Serviço Técnico de Instalação e Manutenção (TIM), Serviço Técnico Responsável pela exploração de Instalações Elétricas (TREIE) e Serviço Técnico Responsável pela Segurança Contra Incêndios em Edifícios (TRSCIE) [9].

Saúde: Um dos mais recentes setores de atuação, onde, através de *softwares* e modelos desenvolvidos de forma específica, pode ser feita a previsão de riscos e uma gestão otimizada dos equipamentos. Apresenta um portefólio onde estão presentes centrais de produção de frio ou calor, grupos geradores de cogeração e trigeração, instalações elétricas e mecânicas e de segurança, redes de gás, água e esgotos, estações de tratamento de águas residuais e infetadas (ETARI) e redes de gases medicinais [10].

Ambiente: Soluções na operação, exploração e manutenção de estações de tratamento de águas (ETA), estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e estações elevatórias (EE), operação de sistemas de osmose, microfiltração e nanofiltração. Oferece também serviços de consultoria em sistemas de drenagem e tratamento de águas, apoio de operação, exploração e manutenção em sistemas ambientais e comissionamento de sistemas de saneamento [11].

Energia e Engenharia: Tem como objetivo dar apoio aos clientes durante a conceção, desenvolvimento, implementação, gestão e manutenção de soluções adequadas ao projeto em causa. Presta serviços de consultoria em processos de maximização de otimização energética e de operações. Atua também na área de regulamentação energética de edifícios ou instalações industriais. Os seus profissionais especializados poderão trabalhar em áreas como a Análise de Ultrassons, Análise de Qualidade de Energia, Termografia, Análise de Vibrações, Manutenção de Postos de Transformação e Análise de Óleos [12].

Indústria: As atividades de manutenção industrial distribuem-se pelas seguintes áreas: petrolífera, gestão de resíduos, agroalimentar, cimenteiras e siderurgias. Apresenta serviços de gestão global de manutenção, de gestão, de operação e de manutenção de centrais de cogeração, bem como a manutenção integral de postos de combustível. Apresenta ainda contratos de lubrificação industrial, de manutenção especializada de equipamentos portuários e contentores, de engenharia de cimenteiras, de classificação e carregamento de corpos moentes e de manutenção de equipamentos eletromecânicos variados [13].

Sistemas Analisadores: Na sua operação em solo Espanhol, a principal incidência da Manvia é na construção de sistemas analisadores, para que possa ser entendido o desenho, a construção, a instalação e o funcionamento de forma integral com os dados analíticos. Fornece serviços em vários setores, como o das energias renováveis, energias tradicionais, petroquímica e química [14].

Parques Eólicos: Esta área reflete-se na operação e manutenção de aerogeradores em parques eólicos. A atividade eólica da Manvia resume-se a uma série de serviços aplicados em projetos no mercado de *Oil&Gaz*, tais como: manutenção preditiva e preventiva, manutenção PPC e corretiva, auditorias, gestão de stocks, ferramentas, equipas e consumíveis, serviços de pás e limpezas em zonas de difícil acesso [15].

Capítulo 2

Evolução do Contexto Energético

Considerando-se um dos bens fundamentais no desenvolvimento da sociedade mundial, a energia revela-se uma necessidade básica em qualquer parte do mundo. O seu acesso é um pilar chave para o bem-estar humano, sendo que a sua evolução e complexidade avançam paralelamente e em constante ligação com a competitividade económica atual.

No entanto, os sistemas energéticos apresentam diversos impactos ambientais. A dependência de combustíveis fósseis é ainda bastante acentuada. O desafio de equilibrar o desenvolvimento e o ambiente orienta-nos para um objetivo onde o acesso a energia de forma sustentável consegue manter a evolução e estilo de vida da população atual.

Para que esse objetivo seja corretamente estruturado e dinamizado, é necessário conhecer a produção e o consumo, a nível global e nacional, bem como a sua evolução, tipos de energia utilizados e suas alternativas, o funcionamento dos mercados energéticos, os fatores económicos ambientais e políticos, tendo todas estas variáveis o seu papel na construção de um futuro sustentável.

2.1 Nível Internacional

A análise da densidade populacional deve ser explorada de forma prioritária, pois a produção e o consumo regem-se e aumentam mediante a quantidade de pessoas que usufruem de energia.

A população mundial ronda, atualmente, os 7.7 mil milhões de habitantes, estimando-se que a população chegue aos 11.2 mil milhões em 2100, sendo que o maior aumento se verificará no continente Africano, como se pode observar na figura 2.1 [16].

Como podemos ver pela figura 2.2, apenas no século XX, a população cresceu de 1.65 mil milhões de pessoas para 6 mil milhões. Constata-se também que em 1970 havia cerca de metade da população existente hoje em dia.

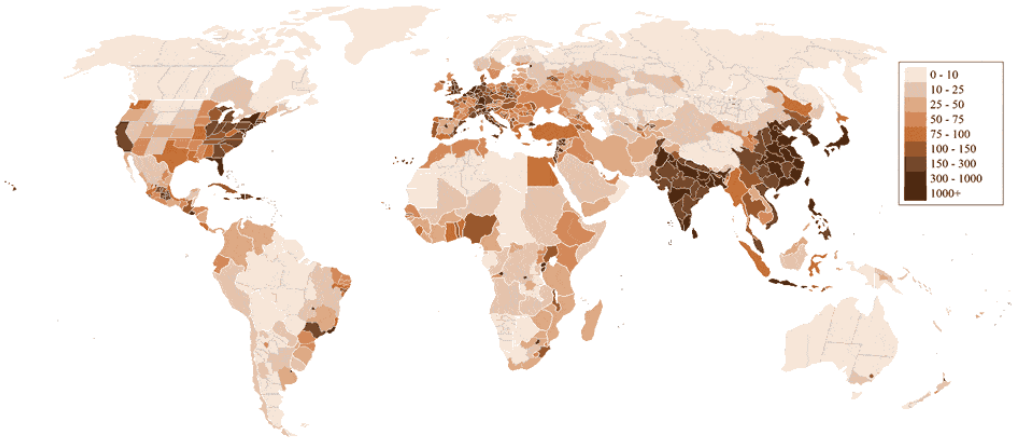


Figura 2.1: Densidade populacional mundial em 2019 (pessoa/km^2)

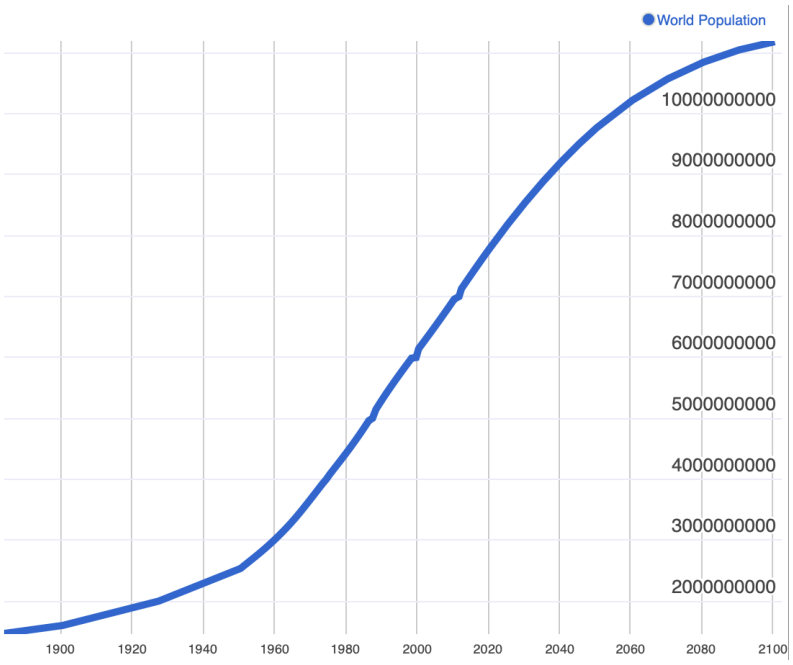


Figura 2.2: População projetada desde 1900 até 2100

Fruto deste aumento populacional, é natural que o consumo energético mundial tenha crescido, também, exponencialmente.

Como podemos ver pela figura 2.3, a maior parte do consumo verifica-se na China, Índia e Estados Unidos. Atendendo ao facto dos dois primeiros países, onde o aumento populacional será maior e onde a indústria está em grande crescimento, mostra-se fundamental a necessidade de alternativas sustentáveis.

Datando a 1800, a totalidade de produção energética era praticamente sustentada por biomassa (tradicionalmente queima de matéria orgânica). O consumo de petróleo começou por volta

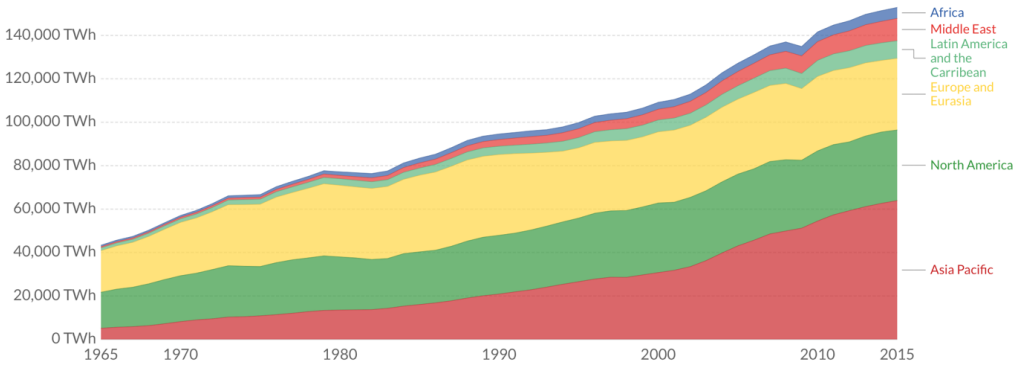


Figura 2.3: Consumo de energia mundial por região

de 1870, seguindo-se, duas décadas depois pela hidroeletricidade e o gás natural. No início do século XX, o consumo de carvão aumentou severamente, tomando conta de cerca de 50% da energia mundial.

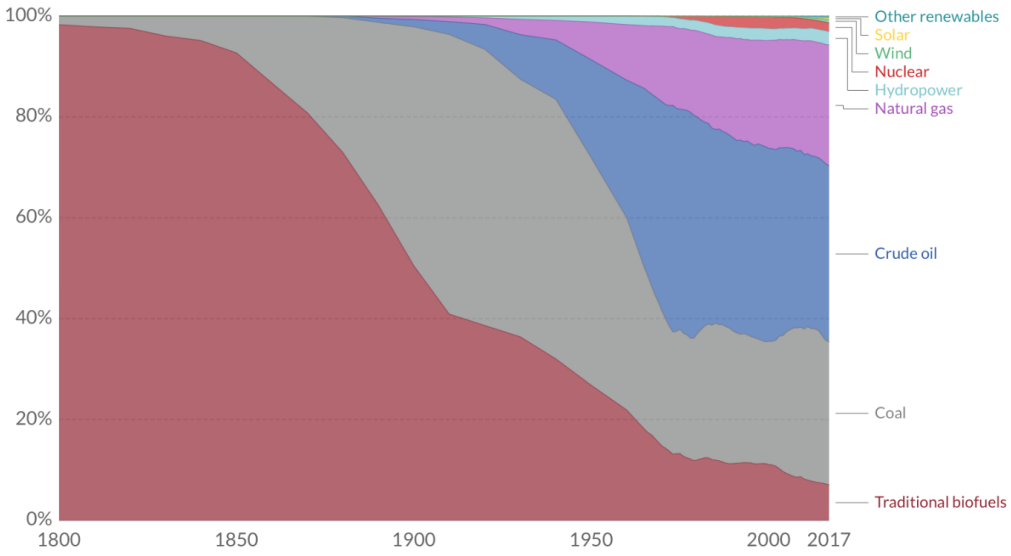


Figura 2.4: Consumo de Energia de 1800 a 2017

Atentando a meio do século, a diversidade energética era já substancial, existindo já alternativas como a produção nuclear. Como pode ser visto na figura 2.4, no final do século já surgiam alternativas renováveis, ainda que em pequenas percentagens.

Atualmente, ainda se verifica uma dominância do petróleo em relação aos restantes tipos de energia, no entanto, prevê-se um aumento do gás natural em relação ao carvão (visto que apresenta menor emissão de gases de efeito estufa), em face das novas metas ecológicas, tornando-se a segunda fonte mais utilizada.

Em relação às fontes renováveis que, até meados de 2018, não apresentavam mais que 6% da energia global, espera-se que nas próximas décadas apresentem um crescimento exponencial, derivado dos grandes investimentos e avanços tecnológicos, nomeadamente nas energias solar, eólica e hidroelétrica.

2.2 Nível Nacional

Partindo agora de uma análise interna a Portugal, pode ser concluído que, ainda que o país seja pequeno e a sua influência não seja tão relevante como uma das grandes potências internacionais, partimos de uma base sólida para ser obtida uma boa progressão na área.

Visto que os recursos fósseis são escassos a nível nacional, a dependência de Portugal em relação ao exterior é notória, como pode ser verificado nas figuras 2.5 e 2.6. Na atualidade, as necessidades dos países desenvolvidos ainda são sustentadas pelo consumo de energia de origem fóssil, o que obriga Portugal a assegurar a sua suficiência através da importação de energia. Esta obrigatoriedade torna o país vulnerável a flutuações económicas dependentes de fatores externos independentes do território nacional [17].

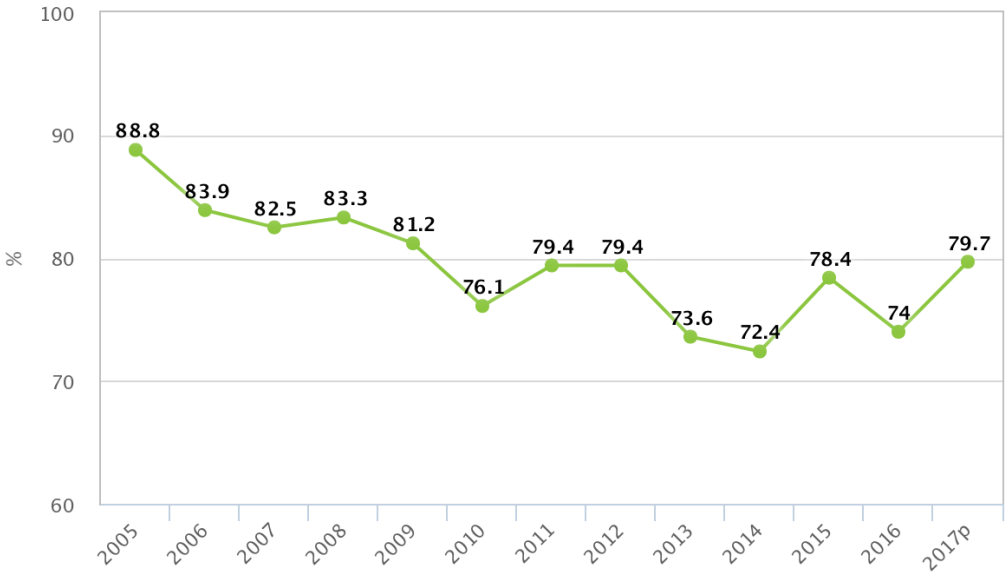


Figura 2.5: Dependência energética nacional de 2005 a 2017

Verificou-se uma diminuição das importações até 2014, tendo sido alcançado o valor mais baixo das últimas décadas, 72,4%. No entanto, desde 2015 a importação foi oscilando entre valores mais altos devido às variações de produção renovável interna, nomeadamente em relação à produção hídrica.

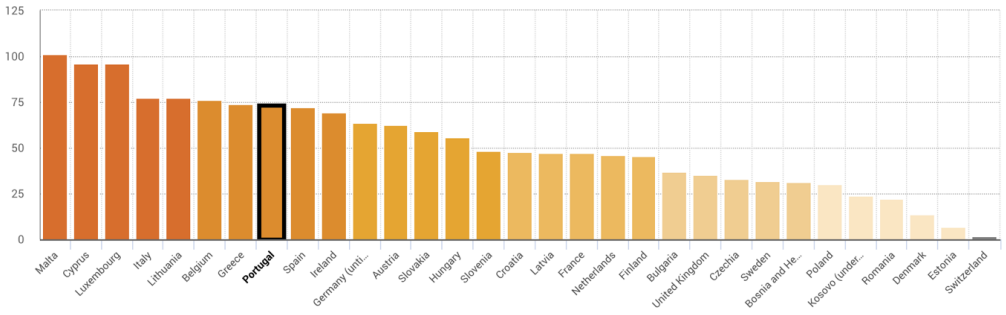


Figura 2.6: Dependência energética percentual na Europa em 2016

De forma a evitar a extrema dependência exterior, Portugal tem vindo a alterar o paradigma relativo à produção energética. Ao longo dos últimos anos, o foco tem estado segundo a aposta nas energias renováveis, que, para além de ir de encontro às metas ambientais europeias e mundiais, permite reduzir drasticamente a importação verificada até então. Para além disso, a crescente preocupação e medidas implementadas relativamente ao tópico, "eficiência energética", também apresentam avanços no que toca à redução da intensidade energética, ou seja, a energia que é necessária para a produção de uma unidade de riqueza.

Atendendo à geografia do país, a energia solar, eólica e hídrica são as que apresentam melhor enquadramento e mais vantagens, tendo por isso destaque no investimento português, como se pode ver pela evolução da geração elétrica nacional nos últimos anos, representada na figura 2.7. Na realidade atual, a presença de produção renovável tem tido uma influência bastante marcante na satisfação do consumo energético. Por exemplo, em novembro de 2019, 67% da totalidade de energia produzida em Portugal continental partiu de geração renovável, para além disso foi o mês em que se registou o melhor valor de produção eólica diário da história, 103 GWh [18] [19].

Ainda assim, analisando o gráfico a figura 2.8, ainda que o seu consumo tenha vindo a decrescer, podemos concluir que o petróleo ainda apresenta um papel essencial na estrutura do abastecimento nacional, representando cerca de 40% do consumo em 2017.

Em relação à intensidade da energia, que permite relacionar o consumo energético com o PIB do país, pela figura 2.9, podemos verificar que Portugal ocupa a 22ª posição na tabela dos países europeus. Mediante o valor deste parâmetro, pode ser concluída a eficiência da energia de um país, ou seja, quanto maior o seu valor, menor a eficiência energética desse país.

Em 2017, Portugal apresentou uma intensidade energética de 104,6 tep/M, valor inferior ao da União Europeia, 111,8 tep/M [20].

Como podemos observar pela figura 2.10, a intensidade energética tem vindo a decrescer gradualmente em Portugal, tal com na Europa.

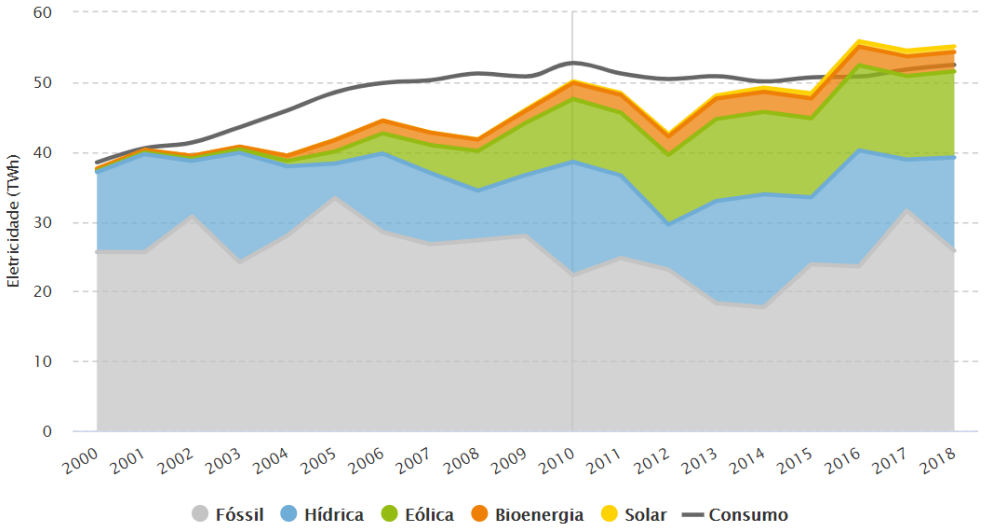


Figura 2.7: Produção elétrica por fonte em Portugal continental de 2000 a 2018

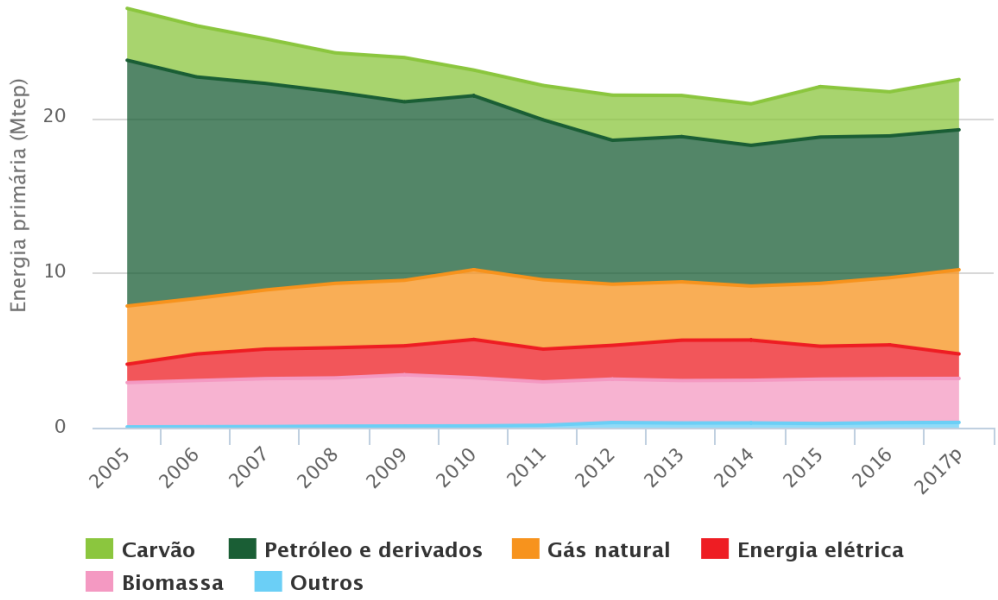


Figura 2.8: Consumo de energia primária em Portugal continental

A partir de 2005 foi iniciado o processo de descarbonização da economia portuguesa, de forma a emitir menos carbono por unidade de riqueza produzida. Um dos grandes fatores impulsionadores do processo foi a alteração do modelo energético nacional, que promoveu o uso de energias menos ricas em carbono, ou seja, a promoção do uso de energias renováveis, a utilização de gás natural e de biocombustíveis, associados a medidas de eficiência energética. Este plano tem vindo sucessivamente a ser alterado, mediante propostas e metas traçadas, tanto a nível nacional, como europeu [21].

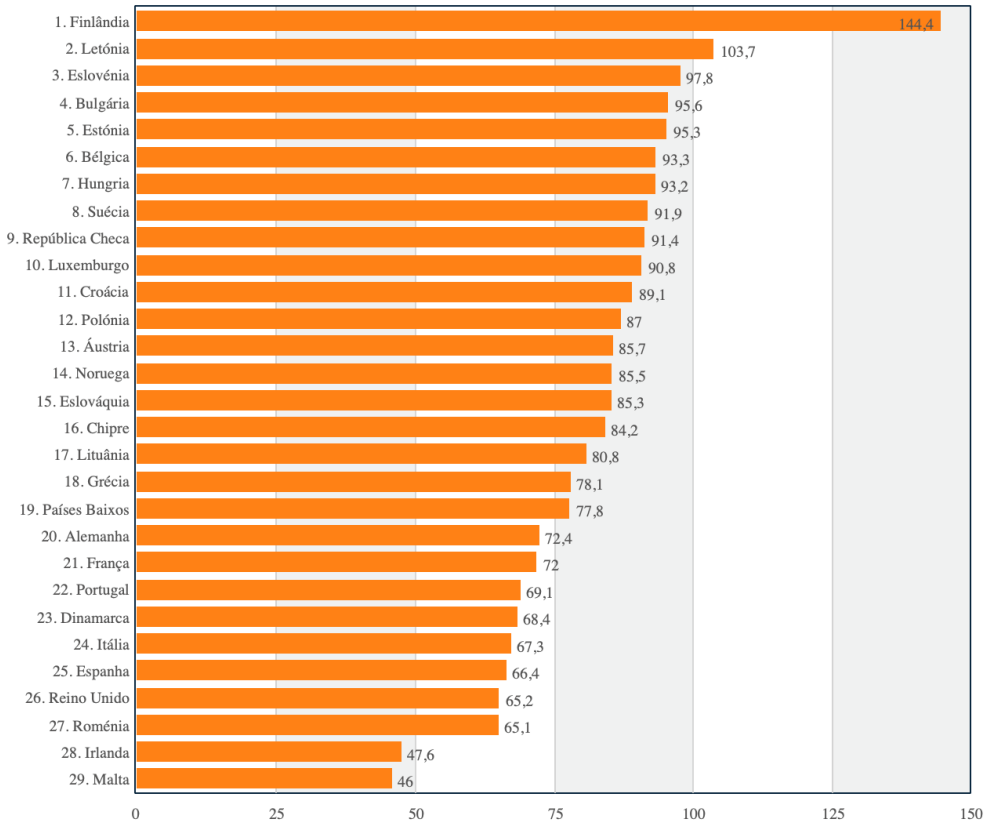


Figura 2.9: Intensidade energética dos países Europeus em 2016 [tep/milhão de PIB]

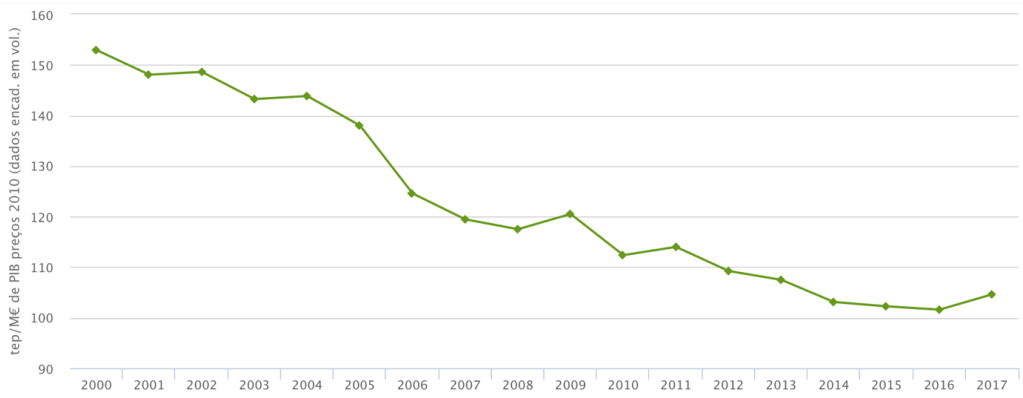


Figura 2.10: Intensidade energética em Portugal

Analisa-se, facilmente, através da figura 2.11 os resultados das medidas aplicadas e do investimento nas energias alternativas. Os valores descem tendencialmente, em ambos os casos, verificando-se valores mínimos (no caso português), em 2010, 2011 e 2013, fruto da elevada pluviosidade correspondente a esses anos. Por outro lado, em 2012 e 2015, verificaram-se valores mais elevados, caso diretamente ligado ao crescimento do setor electroprodutor, o que levou a baixos preços dos combustíveis e das licenças de emissão de CO2.

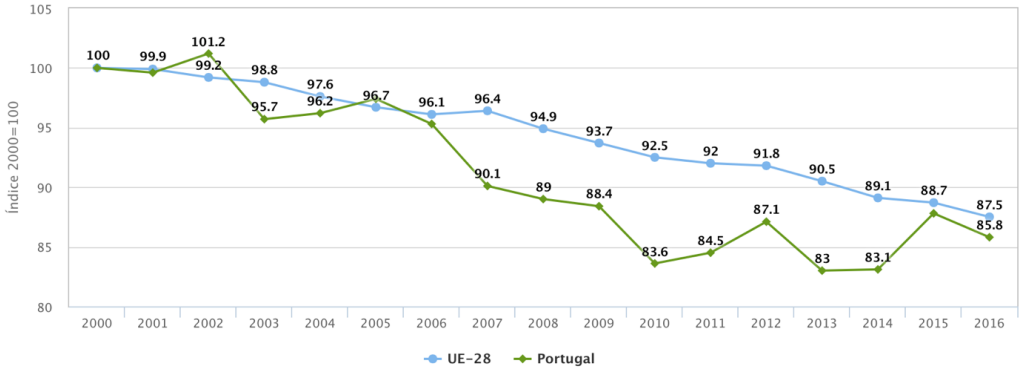


Figura 2.11: Intensidade da emissão de GEE relativamente ao consumo energético em Portugal e na União Europeia

2.3 Sustentabilidade

"Like any good medical examination, there is a clear prognosis of what will happen if we continue with business as usual and a set of recommended actions to put things right."

António Guterres, Secretário Geral das Nações Unidas

Atendendo a todos os tópicos referidos, surge como imperativa a necessidade de uma solução que permita a conjugação do desenvolvimento sustentável, com o crescente consumo e aplicabilidade da energia.

A sustentabilidade assenta no conceito de permanência ou de continuidade de um determinado sistema, por um determinado período de tempo. Ao longo dos últimos anos, ganhou muita importância associada à utilização de recursos naturais para a satisfação das necessidades das gerações presentes, sem comprometimento das gerações futuras.

A natureza finita de grande parte dos recursos presentes no planeta e os correntes movimentos ecológicos e ambientais, viraram a atenção para a necessidade de uma mudança de paradigma, destacando-se o objetivo de utilizar os recursos disponíveis para promover o desenvolvimento global, mas de uma forma ponderada e sustentável a nível ambiental.

Tal como demonstrado na figura 2.12, o desenvolvimento sustentável assenta em três principais pilares: a sustentabilidade social, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade ambiental.

Surge o Global Environment Outlook (GEO), promovido pelas Nações Unidas (UN), onde são definidos objetivos e metas relativos ao desenvolvimento sustentável, atendendo aos diferentes estados de cada país. O GEO (sendo o mais recente, GEO-6) é um projeto representativo de consultoria do ambiente, que agrega diversos relatórios e soluções utilizados para informar e promover possíveis práticas e diagnósticos relativos a este tema, facilitando a relação entre a ciência e a política [22] [23].

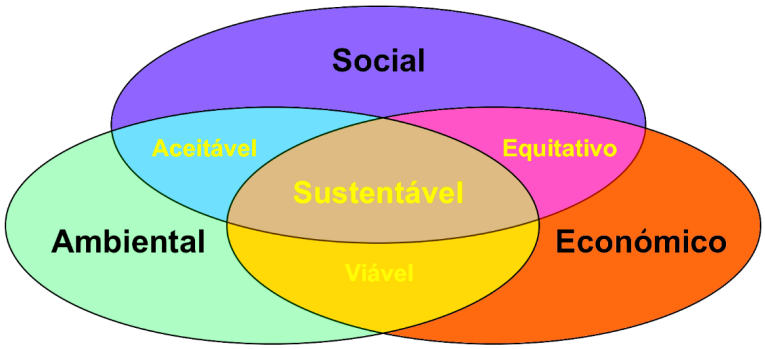


Figura 2.12: Diagrama dos princípios do desenvolvimento sustentável

De acordo com o GEO-6, torna-se imperativa a necessidade de agir perante o estado atual do planeta e seus respetivos recursos. A janela temporal para uma ação profunda e realmente sustentável, torna-se mais pequena a um ritmo mais acelerado, sendo realçada a urgência de alcançar as metas traçadas. Nos anteriores relatórios exaustivos de GEOs são ilustradas futuras tendências ambientais e a real aplicabilidade das medidas políticas.

Para assegurar e promover a aplicação de medidas de eficiência energética e de combate às alterações climáticas foram assinados diversos acordos e protocolos. De entre todos, podem ser destacados os mais emblemáticos: o Protocolo de Quioto (KP) e o Acordo de Paris.

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional que dá seguimento à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), assinado em 1997 e aplicado desde 2005 (sendo o primeiro período válido de 2008 a 2012), congregando 192 nações de todo o mundo. O seu principal objetivo é implementar medidas de redução de emissão de gases de efeito estufa (de origem antropogénica) até 2020, face a 1990, de forma a controlar a concentração de GEE na atmosfera.

O KP foi implementado com um princípio comum, tendo em conta uma análise dos países de forma singular, atribuindo-lhes diferentes responsabilidades de acordo com as suas capacidades no combate às alterações climáticas. Esta discrepância a nível de desenvolvimento, permitiu a divisão dos estados participantes em [24]:

- Países desenvolvidos (Anexo I), com metas quantificadas;

- Países em vias de desenvolvimento ("não-Anexo I"), os quais não apresentam objetivos concretos a nível percentual.

Este protocolo rege-se com base em três diferentes mecanismos que estimulam o investimento e apoiam as partes integrantes na concretização dos objetivos delineados:

- **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM)**: proposta baseada em projetos que tenham o objetivo de encorajar o esforço de redução de GEE, incentivando a transferência de tecnologia entre países em desenvolvimento e desenvolvidos, ou seja, permite que qualquer país sob o KP possa investir e implementar uma solução noutro país em desenvolvimento, beneficiando ambas as partes [25];
- **Mecanismo de Implementação Conjunta (IJ)**: permite a um país pertencente ao Anexo I investir num país em desenvolvimento. Segue a mesma linha de funcionamento do CDM, embora crie algumas restrições ao mesmo, de forma a evitar falsa creditação de um projeto. Ou seja, visto que os países em desenvolvimento não têm as suas metas mensuradas, através de um CDM simples, os participantes num dado projeto poderiam ser sobreavaliados, algo que o IJ não permite [26];
- **Mecanismo do Comércio Internacional de Emissões**: projeto experimental que permite a troca de redução extra de emissões GEE entre países sob o KP. Um certo país que ultrapasse a meta expectada, pode vender o seu "extra" a outro que esteja aquém da sua [27].

O Protocolo de Quioto foi reformulado pela Emenda de Doha, assinado dia 8 de dezembro de 2012, onde se criaram novos acordos para os estados do anexo I, válidos de 2013 a 2020, bem como emendas a vários artigos do KP [28].

Por outro lado, o Acordo de Paris, assinado em 2015 e aplicado a partir de 4 de novembro de 2016, surgiu como reflexo de uma urgente necessidade de uma resposta eficaz ao aumento da temperatura média global. O seu foco principal a longo prazo é limitar o aumento da temperatura média global nos 2^{o}C em relação aos níveis pré-industriais e progredir nos esforços para limitar o aumento da temperatura em 1,5^{o}C [29].

Para além disso, o acordo promove o apoio e investimento financeiro e tecnológico de forma a facilitar a adaptação e crescimento sustentável de países em desenvolvimento e obriga todas as partes integrantes (55 países, aos quais correspondia 55% do total de emissões de GEE globais) a uma demonstração transparente e regular das ações e dados (por exemplo, as suas emissões) relativos às metas acordadas [30].

Este acordo contribui para a mudança de paradigma na luta contra as alterações climáticas, reduzindo de forma significativa os seus impactos, reduzindo a vulnerabilidade dos países de todo o mundo em relação a essas mesmas alterações.

Em Dezembro de 2008 foi aprovado o Pacote Clima-Energia pelo Parlamento Europeu que tinha como principal objetivo o cumprimento da "Meta 20-20-20", que consistia na redução em 20% das emissões de GEE (alterando para 30% em acordo de 2012), elevação em 20% da quota-parte das energias renováveis e aumentar a eficiência energética, por parte da UE até 2020 (quando comparado com 1990). O pacote traça também uma meta de 10% de utilização de energias renováveis no setor dos transportes [31].

A diretiva 28/2009/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009 obrigou a introdução de um plano de promoção de uso de energias renováveis para todos os estados membros. Portugal apresentou em 2010 o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), onde foram traçadas metas e objetivos para a aplicação de energias de fontes renováveis nos setores de Aquecimento e Arrefecimento, Eletricidade e Transportes [32].

A Diretiva 2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro, relativa a Eficiência Energética definiu um limite máximo de consumo de energia primária em 2020, equivalente a uma redução de 20% (com posterior alteração para 25%).

Posteriormente, foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros nº. 20/2013, que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Estratégia para a Eficiência Energética – PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (Estratégia para as Energias Renováveis – PNAER 2020), o que revoga as RCM nº. 80/2008 (PNAEE para o período de 2018-2015) e nº. 29/2010 [33].

Em 2016, foi apresentado o Pacote Legislativo "Energia Limpa para todos os Europeus" pela Comissão Europeia, visando o cumprimento das metas e objetivos traçados previamente. Este pacote previa a apresentação de um plano energético nacional para todos os estados membros, que no caso nacional deu origem ao PNEC. A EU tenciona em 2030 atingir 32% de quota de energia proveniente de fontes renováveis, 32,5% de redução do consumo; 40% de redução das emissões de GEE e 15% de interligações energéticas.

Relativamente ao Pacote Energia Limpa para todos os europeus e Pacote Clima, as metas europeias para 2030 são as seguintes: [34]

-Renováveis: 32,5%;
-Eficiência Energética: 32,5%;
-Emissões GEE: -40%;
-Renováveis nos Transportes: 14%;
-Interligações Elétricas: 15%.

De acordo com o Regulamento (EU) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, foi criado o Plano Nacional integrado Energia Clima (PNEC), onde foram definidas as principais ações e contributos de Portugal para a redução de GEE, promoção da eficiência energética e interligações, bem como de energias renováveis. Serve como base e orientação para a política energética e climática de 2021 a 2030. As metas de Portugal para 2030, em matéria de energia e clima são as seguintes:

-Renováveis: 47%;
-Eficiência Energética: 35%;

-Emissões GEE: -45% até -55%;
-Renováveis nos Transportes: 20%;
-Interligações Elétricas: 15%.

O PNEC Veio substituir e compactar os três planos nacionais que até à data estavam em vigor, cada um respetivo ao seu âmbito de atuação com ações direcionadas para a energia e sustentabilidade. Os planos eram os seguintes: [34]

- Plano Nacional de Ação para as energias Renováveis – PNAER;
- Plano Nacional para as Alterações Climáticas – PNAC;
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – PNAEE;

Como linha de base para o cumprimento dos desafios energéticos, o PNEC está alinhado com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050), tal como com o Plano Nacional de Investimentos (PNI) de 2030 [35].

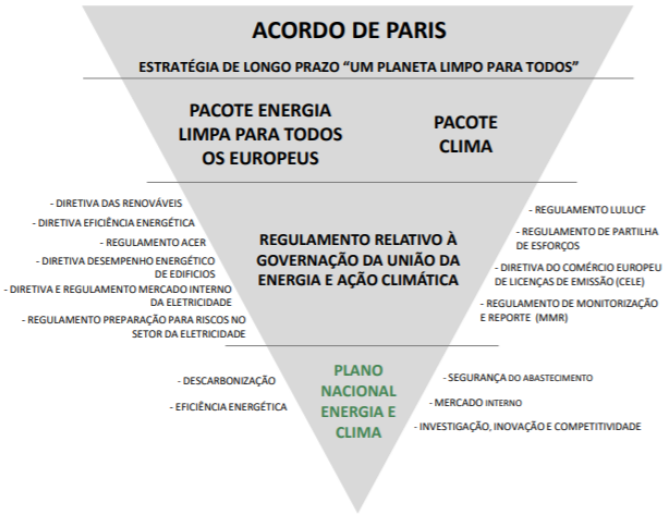


Figura 2.13: Estratégia Legislativa para Ação Climática

Por último devem ser ainda destacadas algumas normas, diretivas e leis que tiverem bastante impacto no que toca à progressão do desenvolvimento e rumo na concretização das metas impostas.

A nível Europeu [36]:

• Diretiva 92/75/CEE – Indicação, em etiquetas e informações padrão do produto, dos níveis de consume de energia e de outros recursos eletrodomésticos;

• Diretiva 2002/91/CE – Desempenho Energético de Edifícios;

• Diretiva 2005/32/CE – Requisitos de design ecológico para produtos consumidores de energia;

• Diretiva 2006/32/CE – Eficiência do Uso Final de Energia e Serviços de Energia;

• Diretiva 2010/31/UE – Desempenho Energético em Edifícios e suas metodologias;

• Diretiva 2012/27/UE – Medidas relativas à Eficiência Energética;

• Diretiva 2018/2002 do PE e do CE – Alterações substanciais à Diretiva 2012/27/EU.

A nível Nacional [37]:

• Decreto Lei nº78/2006 – Definição do SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética);

• Decreto Lei nº79/2006 – Definição do RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios);

• Decreto Lei nº80/2006 – Definição do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios);

• RCM nº80/2008 – Implementação de medidas de melhoria e eficiência energética- PNAEE (Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética);

• RCM nº29/2010 – Adaptação e atualização da estratégia energética;

• Decreto Lei nº50/2010 – Financiar, promover e incentivar projetos de eficiência energética, bem como a alteração de comportamentos já existentes. Cria o Fundo de Eficiência Energética (FEE);

• Decreto-Lei n.º 12/2011 - estabelece os requisitos para a concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia;

• RCM nº2/2011 – Lança o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) que promove a meta de aumento de eficiência de 20% até 2020.

Capítulo 3

Qualidade da Energia Elétrica

Em condições normais de exploração, os consumidores de energia elétrica têm acesso a uma tensão sinusoidal alternada que apresenta amplitude e frequência relativamente constantes. Ainda assim, aquando da operação da rede, verificam-se alterações nas características nominais da onda, afetando, por sua vez, o funcionamento dos equipamentos e de instalações associadas, podendo ainda ser reduzido o seu tempo de vida útil.

Isto verifica-se devido a fatores internos e externos, com origem na própria rede, nos produtores de energia, em instalações de clientes industriais e por vezes nas interligações com outras redes.

Para que possam ser evitados fenómenos com grande peso negativo e graves repercussões na rede, os operadores das redes de transporte e distribuição devem atentar na monitorização das seguintes características: Distorção Harmónica, Frequência, Valor Eficaz da Tensão, Tremulação (efeito *flicker*), Cavas de Tensão e Desequilíbrio do Sistema Trifásico de Tensões.

De notar que a melhoria e manutenção da qualidade das ondas de tensão implicam custos, que por vezes não são necessários para parte dos consumidores. Dessa forma, a construção de uma rede sem perturbações não surge como uma opção viável. Por outro lado, chegou-se a uma filosofia de partilha de responsabilidades entre os clientes mais preocupados com este aspeto e os operadores de rede, fazendo com que, por um lado, os clientes tenham que adaptar de forma eficaz as suas instalações, e por outro, os operadores disponibilizem um nível de qualidade satisfatório para a maioria [38].

Tendo em conta a crescente preocupação dos fornecedores de energia com a qualidade da sua energia, a onda fornecida é sinusoidal, equilibrada, com frequência de 50 Hz e com valor eficaz dentro dos limites contratados. Ainda assim, é impossível garantir que o fornecimento de energia apresente tensão perfeita, tendo em conta condições de utilização e produção. Para evitar que estes acontecimentos, por vezes é necessário um investimento avultado, que não vai de encontro aos interesses dos responsáveis.

Por essa razão, definiu-se a norma EN 50160, atualizada em 2010 (substituindo a sua versão

anterior de 2007), onde são especificadas as características e definidos parâmetros de controlo da qualidade da energia elétrica (QEE).

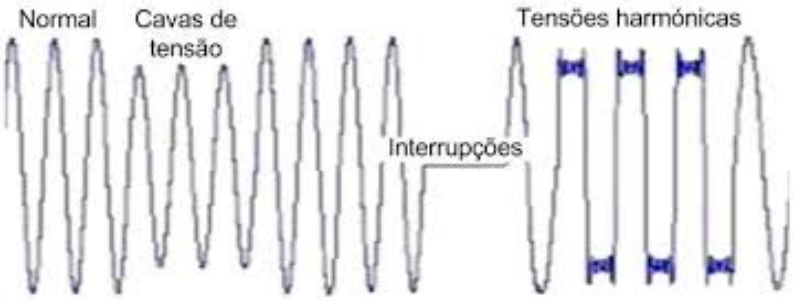


Figura 3.1: Exemplo de perturbações na rede

3.1 Desequilíbrio de Tensão

Os desequilíbrios de tensão correspondem a situações onde se verificam elevadas diferenças entre os valores eficazes das tensões ou em casos onde o desfasamento dos ângulos entre fases são diferentes [39].

Estes desequilíbrios podem ter diferentes origens, nomeadamente, a distribuição desigual de cargas monofásicas (levando a um aumento de corrente no neutro), a assimetria de impedâncias em enrolamentos de transformadores, curto-circuitos indetetados entre fase e neutro e devido à existência de sobrecargas ou desequilíbrios nos equipamentos [40].

Os desequilíbrios de tensão em instalações podem provocar severos problemas, tais como:

- Incorreto funcionamento de sistemas e equipamentos elétricos e eletrónicos;
- Sobreaquecimentos nas máquinas, como motores e transformadores;
- Sobrecargas extremas nos condutores;
- Perturbações significativas no desempenho global da instalação.

As consequências deste problema refletem-se, de forma mais frequente e transparente, em motores de indução e máquinas síncronas ou transformadores. No primeiro caso, o desequilíbrio leva a componente inversa das correntes a provocar a rotação do motor em sentido inverso (através da criação de dois campos magnéticos girantes opostos), o que leva ao seu sobreaquecimento e consequentemente, a falhas no seu funcionamento e à diminuição do seu tempo de vida útil. No caso dos transformadores, só se verifica esta situação quando a ligação dos enrolamentos é estrela-triângulo ou triângulo-estrela. Neste caso, as correntes homopolares (relativas à componente homopolar em enrolamentos ligados em triângulo) originam o sobreaquecimento dos enrolamentos, levando ao surgimento de perdas.

Os problemas originados pelos desequilíbrios de tensão podem ser resolvidos através da redistribuição e equilíbrio das fases das cargas, através da utilização de reguladores automáticos de tensão, utilizando transformadores específicos ou dimensionando os relés existentes para detetarem esta situação.

3.2 Cavas de Tensão

Na norma EN 50160, são definidas certas perturbações, nomeadamente as cavas de tensão, bem como os seus limites.

Por definição, é uma diminuição brusca da tensão para um valor entre 1% e 90% do seu total nominal, seguindo-se do seu restabelecimento após um curto período de tempo. É convencionado que uma cava de tensão não dura mais de 1 minuto, nem menos de 10 milissegundos.

O seu valor é definido pela diferença entre a tensão inicial e a tensão eficaz durante a cava de tensão [41].

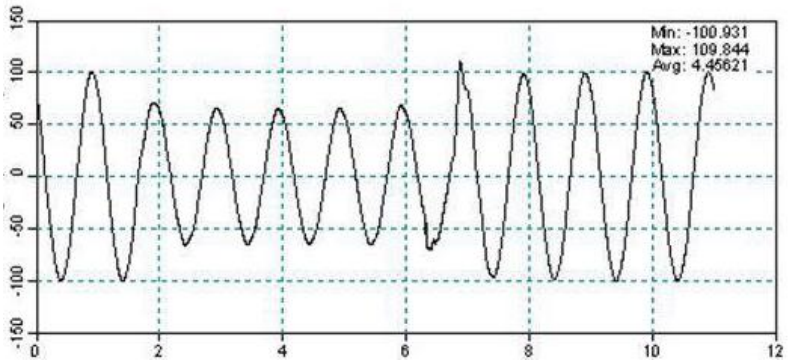


Figura 3.2: Exemplo de uma Cava de Tensão [tensão(%)/tempo]

As cavas de tensão, exemplificadas na figura 3.2, podem ter diferentes tipos de origem. Uma das causas pode ser associada a problemas nos equipamentos da instalação, nomeadamente nos reguladores de tensão, fruto de sucessivos curto-circuitos inerentes à instalação (que levam a tensão até valores próximos de zero). Este efeito pode ser provocado pela ocorrência de descargas atmosféricas ou más condições climatéricas. Para além disso, atendendo ao seu consumo inicial, o arranque de cargas com grandes dimensões pode resultar no surgimento de cavas de tensão. A corrente de magnetização necessária para o transformador pode suscitar variações de tensão, que levam a um aumento da impedância e, consequentemente, a uma solicitação maior de corrente e uma nova queda de tensão.

Podem ter consequências graves em diversos equipamentos, dos quais são importantes destacar os seguintes:

i) **Motores síncronos e de indução**: sofrem redução de binário, podendo levar à perda de sincronismo (no caso dos motores síncronos) e interrupção de funcionamento;

ii) **Iluminação**: na generalidade das lâmpadas, são responsáveis por possíveis diminuições no fluxo luminoso. São também afetadas as lâmpadas de sódio, uma vez que aquando de uma cava de tensão se apagam e o seu reacendimento é, por vezes, demorado.

iii) **Variadores Eletrónicos de Velociade (VEV)**: a sua sensibilidade às cavas é bastante elevada, o que leva , geralmente, a que o seu funcionamento seja interrompido na sua presença.

iv) **Contatores**: quando há uma interrupção da alimentação de um motor, o contator abre para que a máquina fique protegida, evitando problemas mais severos. A extrema sensibilidade de contatores AC (corrente alternada), utilizados em motores de indução podem ficar com as valências do seu funcionamento reduzidas.

Para se proceder à mitigação ou prevenção destes efeitos, é necessária uma análise aos principais parâmetros que lhe estão associados: a sua duração (entre 10 milissegundos e 1 minuto), o seu limiar final (valore eficaz de tensão final), o limiar de início (valor eficaz de tensão inicial) e a sua tensão residual (valor mínimo de tensão durante a cava).

Após essa análise, os problemas podem ser efetivamente corrigidos através do aumento da periodicidade de manutenção, da aplicação de mais isolamento e medidas de segurança contra fatores externos, do aumento da potência de curto-circuito (evitando a propagação da cava e reduzindo o tempo de extinção da mesma) e da utilização de aparelhos de filtragem de perturbações.

3.3 Variações Rápidas de Tensão

Variações rápidas de tensão estão, geralmente, refletidas no sistema através do efeito de *flicker*, representado na figura 3.3.

O efeito *flicker*, originado por flutuações que resultam de rápidas quedas de tensão, são variações de iluminação artificial perceptíveis visualmente. As grandes consequências, em casos de variações elevadas ou de repetições sucessivas, é o incómodo para os utilizadores e a eventualidade de trazer repercussões para a sua saúde [42].

De forma a contrabalançar este problema, podem ser instaladas lâmpadas menos suscetíveis a este efeito, reduzir a energia reativa do sistema ou aumentar a potência de curto-circuito e utilizar balastros eletrónicos.

3.4 Sobretensões

Uma sobretensão corresponde a uma variação do valor da amplitude da tensão. Podem apresentar maior ou menor grau de gravidade, sendo que o seu impacto é normalmente residual, não apresentando graves consequências no sistema.

Pode ser feita a distinção em dois tipos de sobretensão, alta frequência ou baixa frequência. O primeiro caso refere-se a ocorrências com frequências superiores às da rede (50 Hz), por outro

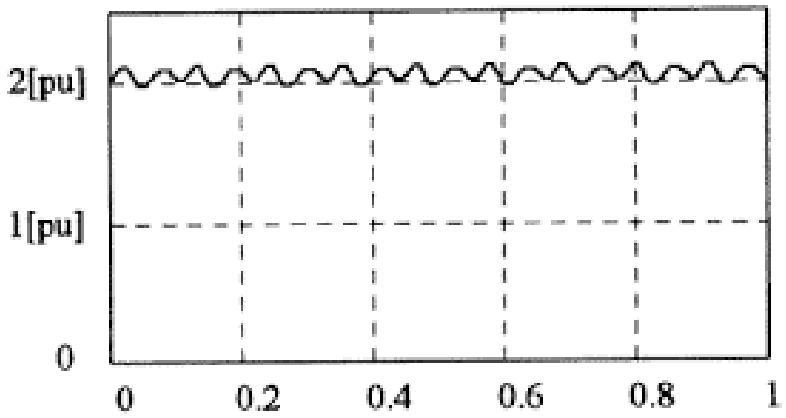


Figura 3.3: Exemplo de efeito Flicker (tensão/tempo)

lado, o segundo caso diz respeito a ocorrências com frequências do mesmo valor que a rede.

A sua origem pode ser de origem variada, mas destacam-se os seguintes:

- Situações originadas por equipamentos do sistema;
- Incorreta operação de disjuntores;
- Descargas atmosféricas;
- Descargas eletrostáticas.

Algumas sobretensões podem ter origem no próprio sistema devido ao incorreto funcionamento ou falha de aparelhos pertencentes ao mesmo. Estas alterações de tensão resultam na comutação de correntes indutivas ou circuitos capacitivos).

No caso da operação de disjuntores, se o seu isolamento não estiver bem dimensionado para o sistema, uma sobretensão poderá causar um curto-circuito. Geralmente apresentam uma duração entre 180 a 3000 microssegundos.

As descargas atmosféricas têm origem em relâmpagos de tempestades, que originam correntes de valor na gama dos 20 kA, podendo atingir no seu valor de pico os 200 kA. Estas correntes causam o aumento do potencial da terra, dado que a sua diferença é o que origina estes valores de corrente. São sobretensões de duração de 10 a 20 microssegundos.

Por fim, as descargas eletrostáticas têm origem na ação humana. A criação de energia eletrostática, consequência de uma subida de tensão, dá-se aquando do contacto com certos materiais, leva a que surjam avarias em alguns aparelhos.

Este tipo de variação de tensão resulta no sobreaquecimento de equipamentos que sejam afetados, podendo porventura resultar na sua avaria ou destruição, tal como dos seus isoladores ou reguladores. Os sistemas digitais, de controlo de velocidade e semicondutores poderão também ver o seu funcionamento manietado, alterando a regularidade da sua operação.

Para que as sobretensões possam ser prevenidas e atenuadas, devem ser instalados cabos de guarda, de forma a proteger as linhas de transmissão, podem também ser instalados descarregadores de sobretensão nos quadros elétricos de baixa tensão. Para além disso, podem também ser utilizados supressores de impulsos de tensão.

3.5 Oscilação de Frequência

As variações de frequência estão diretamente relacionadas com o tipo de cargas e a capacidade do sistema de comando. Surgem devido à instabilidade entre a necessidade de energia e a sua produção. Também se pode verificar este fenómeno devido à saída de uma linha de transporte de energia ou aquando duma avaria numa central de produção. Atualmente, as oscilações de frequência são situações relativamente raras.

Estas perturbações originam problemas como o sobreaquecimento de fontes de alimentação, variação de potência debitada por motores de corrente alternada ou modificação do comportamento de equipamentos dependentes da frequência como referencial temporal.

A partir da norma EN 50160, pode analisar-se este tipo de perturbações tendo em conta as características que a definem, cujos parâmetros são [43]:

- **Frequência Nominal** - corresponde ao valor nominal da frequência de alimentação;
- **Frequência da Tensão de Alimentação** - através da onda sinusoidal de tensão, mede-se, ao longo de um intervalo de tempo, a taxa de repetição.

De acordo com a norma EN 50160, a frequência nominal de tensão deverá apresentar um valor de 50 Hz. Num período normal de funcionamento, num intervalo de medição de 10 segundos, o valor médio da frequência fundamental deve respeitar os seguintes intervalos:

Para sistemas sem ligação síncrona a redes interligadas:
- 50 Hz 2% durante 95% de uma semana, ou seja, [49 Hz; 51Hz];
- 50 Hz 15% durante 100%, ou seja, [42,5 Hz; 57,5 Hz].

Para sistemas que possuam ligação síncrona a redes interligadas:
- 50 Hz 1% durante 99,5% do ano, ou seja, [49,5 Hz; 50,5 Hz];
- 50 Hz + 4% / 50 Hz -6% durante 100%, ou seja, [47 Hz; 52 Hz].

Para que o problema não surja ou persista, há que ter atenção à produção e ao consumo das cargas, adequando um ao outro. Tendo em conta o aumento da produção energética, a nível global, é natural que as oscilações de frequência sejam mitigadas.

3.6 Fator Potência e Energia Reativa

Em edifícios de serviços, para além do consumo de energia ativa, verifica-se consumo de energia reativa. A atenção e cuidado dados à energia reativa, tanto pela parte das entidades reguladoras, como das empresas distribuidoras, tem vindo em crescimento.

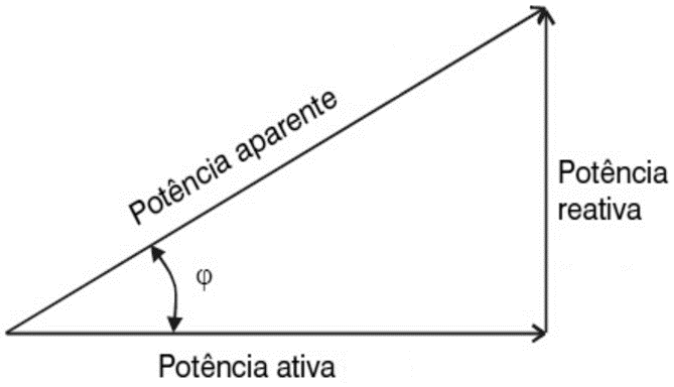


Figura 3.4: Triângulo de Potências

-S: Potência Aparente, medida em VA;
-P: Potência Ativa, medida em W;
-Q: Potência Reativa, medida em Var;

Sendo as suas equações as seguintes:

$$S = V \times I \tag{3.1}$$

$$P = Scos(\phi) \tag{3.2}$$

$$Q = Ssin(\phi) \tag{3.3}$$

Posteriormente,

$$S = V \times I = V \times Icos(\phi) + jV \times Isin(\phi) = P + jQ \tag{3.4}$$

Por vezes, um aparelho elétrico alimentado com corrente alternada, para além de consumir energia ativa, por vezes também consome energia reativa, necessária para a criação de campos magnéticos que permitem o seu funcionamento, acabando por fornecer energia reativa à rede.

As seguintes equações traduzem as grandezas de funcionamento deste tipo de equipamentos:

Equação da Tensão:

$$v(t) = \sqrt{2} \times V \times sin(wt) \tag{3.5}$$

Equação da Corrente:

$$i(t) = \sqrt{2} \times I \times sin(wt - \phi) \tag{3.6}$$

Equação da Potência:

$$p(t) = v(t) \times i(t) = 2 \times V \times I \times sin(wt) \times sin(wt - \phi) = V \times I \times cos(\phi) - V \times I \times cos(2w - \phi) \tag{3.7}$$

Desdobrando a última equação, concluímos que o primeiro termo corresponde à componente constante e o segundo à componente alternada.

A energia reativa existente num sistema, obriga a que os consumidores tenham de pagar custos associados à mesma. De forma a evitar este tipo de custos, os consumidores devem encontrar soluções e melhorar a eficiência energética relativa aos seus equipamentos.

Para o cálculo dos custos da energia reativa, utiliza-se a tg(ϕ), relacionando a potência reativa com a potência ativa, como podemos ver na seguinte equação.

$$tg(\phi) = Q \div P \tag{3.8}$$

As regras que definem a faturação de energia reativa aos consumidores estão discriminadas no Despacho nº 7253/2010 do Diário da República, publicado em 26 de Abril de 2010.

Desde então que a energia reativa é faturada de acordo com os valores correspondentes a tg(ϕ), nos períodos de horas fora de vazio, utilizando um fator multiplicativo como representado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Escalão de Faturação da Energia Reativa

Escalão	**Descrição**	**Fator Multiplicativo**
Escalão 1	Correspondente a $30\% \leq tg\phi < 40\%$	0,33
Escalão 2	Correspondente a $40\% \leq tg\phi < 50\%$	1,00
Escalão 3	Correspondente a $tg\phi \geq 50\%$	3,00

Os fatores multiplicativos representam três grandes objetivos: o preço aplicado a cada escalão é progressivo mediante a não compensação local de energia reativa nas redes, o custo do escalão 1 deverá ser semelhante ao custo que pode ser evitado com a compensação local, o preço do escalão 3 deverá ser demonstrativo, funcionando como incentivo a novos investimentos na instalação.

Previamente à redação do Despacho referido atrás, a energia reativa era faturada de uma forma distinta, se a tg(ϕ) fosse inferior ou igual a 40%, não era cobrada, caso contrário, era cobrada.

Em suma, a introdução das novas alterações legislativas veio trazer a necessidade de solucionar a questão da compensação existente nas diversas instalações.

O fator de potência corresponde ao cosseno do ângulo que define o desfasamento entre a tensão e a corrente. É também a relação entre a potência ativa e a potência aparente consumidas por um dado equipamento ou instalação.

$$FP = cos(\phi) \tag{3.9}$$

$$FP = P \div S \tag{3.10}$$

Considerando o Despacho atrás referido, conclui-se que se o fator de potência for superior a 0,96, correspondendo a um ângulo ϕ de 16,7º, não existe nenhum custo de energia reativa associado.

Para que possam ser evitados problemas resultantes da existência de energia reativa, tais como, o baixo fator de potência (que se traduz em custos elevados na fatura energética), o aumento das quedas de tensão e perdas nas linhas de alimentação, o aumento das correntes nas linhas de transmissão e eventual sobreaquecimento dos cabos, devem ser encontradas soluções de forma a corrigir esta situação.

Para isso, há que ter em conta fatores como:

-Regime de carga;

-Custo dos equipamentos;

-Objetivo final relativamente ao corte ou redução da taxa de energia reativa;

-Consequências da incorporação das soluções na instalação total;

Mediante a localização dos equipamentos de compensação, podemos destacar três tipos de soluções [44]:

- **Compensação Global**: através da instalação de uma bateria de condensadores ao barramento do Quadro Geral de Baixa Tensão;
- **Compensação Parcial**: ligação das baterias aos barramentos dos quadros parciais, ou seja, por setor da instalação;
- **Compensação Individual**: as baterias são ligadas nos bornes (contatos de fios) de recetores indutivos.

Na compensação global, não são eliminadas as perdas por efeito Joule e a potência aparente passa a estar adaptada ao edifício, cortando as penalizações extraordinárias por consumo de reativa, ainda que esta continue presente.

No caso da compensação parcial por setor, a diminuição de circulação de energia reativa, aumenta o fator de potência, permitindo a otimização do sistema. São também diminuídas as perdas por efeito Joule.

Relativamente à compensação individual, uma vez que se verifica atuação na origem do problema, consegue maximizar as melhorias verificadas, eliminando totalmente as perdas por efeito Joule e a energia reativa circulante.

De acordo com as necessidades da operação e os seus objetivos, um certo tipo de compensação será vantajoso num certo local.

Deverá também ser definido se a compensação é variável ou fixa, sendo no primeiro caso utilizados condensadores de capacidade fixa e no segundo, condensadores de regulação automática [44].

As baterias de condensadores de capacidade fixa são constituídas, geralmente, por condensadores modulares. Como não há possibilidade de regulação da potência dos condensadores em funcionamento, a bateria deve ser adaptada de forma a ser obtida a compensação desejada.

Ao invés do caso anterior, as baterias de regulação automática, como o próprio nome indica, permitem a regulação automática da potência reativa. Os seus condensadores dividem-se por escalões (de compensação) que são desligados ou ligados, atendendo ao fator de potência ou às cargas.

Possuem três componentes fundamentais:

- **Condensadores (por escalões)**: armazenadores e fornecedores de energia reativa;
- **Contatores**: organizam as entradas e saídas de serviço dos escalões da bateria;
- **Relé Varimétrico**: mede o fator de potência, verificando quais as condições e necessidades de compensação.

Para dimensionar a bateria, na medida da compensação necessária, é importante considerar a seguinte equação:

$$Q = P \times (tg(\phi existente) - tg(\phi pretendido)) \tag{3.11}$$

Q – Potência reativa necessária para a compensação (kVar);

P – Potência ativa existente (kW);

tg(ϕ existente) – valor sem compensação;

tg(ϕ pretendido) – valor de compensação pretendido.

3.7 Poluição Harmónica

A poluição harmónica, também conhecida como distorção harmónica, corresponde a uma perturbação que tem bastante relevância no estudo de eficiência energética. Devido à suscetibilidade crescente dos aparelhos elétricos e eletrónicos em relação a este tema, é um problema que deve ser rapidamente mitigado e, se possível, prevenido.

A poluição harmónica tem a sua origem nos componentes não lineares das redes elétricas que originam deformações nas formas de onda das grandezas elétricas.

As suas consequências resultam no mau funcionamento e deterioração dos equipamentos e isolamento correspondente, redução do rendimento dos equipamentos (aumento das perdas) e a minimização da eficácia da proteção, derivadas do sobreaquecimento dos condutores e enrolamentos, elevados valores de corrente eficaz e perturbações nas ondas de tensão, aumento do potencial de tensão entre o neutro e a terra.

De forma a mitigar o problema, o sistema deve ser estudado de uma forma macro, bem como todas as suas características, para que se possa sobredimensionar os equipamentos. Para além disso, outro método corrente é a segmentação das cargas com maior sensibilidade, de forma a isolar as eventuais distorções e compartimentar os problemas associados. Podem ainda ser utilizados filtros harmónicos e transformadores com ligações indicadas para o efeito.

3.7.1 Caracterização de Harmónicos

A crescente utilização de cargas não lineares relaciona-se diretamente com a preponderância para os sistemas sofrerem de poluição harmónica. Estas cargas são responsáveis pela criação de correntes harmónicas e consequentemente de tensões harmónicas, o que afeta a tensão de alimentação.

Ao contrário de cargas lineares (constituídas por capacitâncias, resistências e indutâncias), nas quais as formas de onda das suas correntes e tensões são sinusoidais, as cargas não lineares (constituídas por díodos, tirístores e transístores), absorvem correntes com formas de onda não sinusoidal. As diferenças de onda entre cargas não lineares e lineares está representada na figura 3.5.

Analisando as distorções das ondas de corrente ou tensão, podem ser detetados os harmónicos que afetam a qualidade da energia.

Como se ilustra nas figuras 3.6 e 3.7, a onda com frequência fundamental é afetada pelos harmónicos, dando origem à onda deformada, resultante do somatório de ambos os sinais.

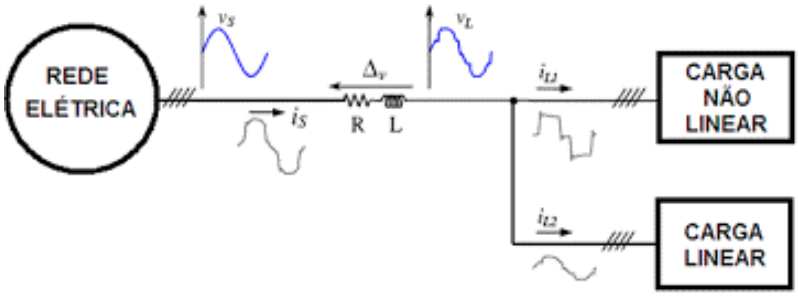


Figura 3.5: Diferença na forma de onda para cargas lineares e não lineares

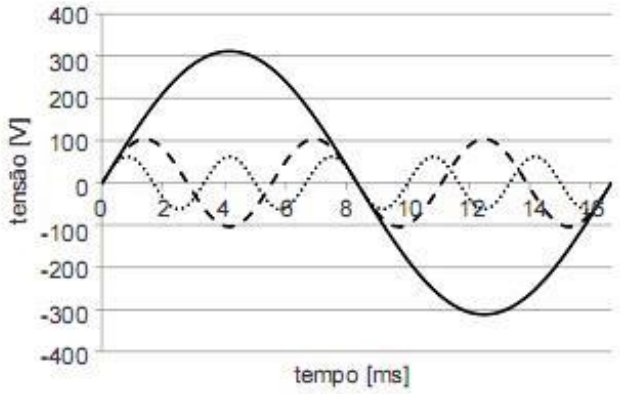


Figura 3.6: Onda de tensão original e respetivos harmónicos

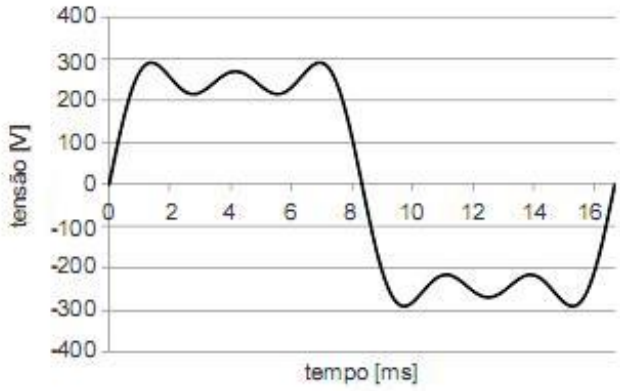


Figura 3.7: Onda de tensão deformada

Os harmónicos são caracterizados mediante a sua frequência (múltipla da fundamental linear com o crescimento da ordem), ordem (par ou ímpar) e sequência (positiva, nula ou negativa). Habitualmente, os harmónicos de ordem par não são preocupantes no que toca à criação de problemas para a instalação. No entanto, os harmónicos ímpares, resultantes de cargas não-lineares, já necessitam de estudo para que se possa evitar poluição desnecessária. Para isso, tem-se em conta a sua sequência, que afetará o sistema de formas diferentes, sendo os de sequência nula o caso mais crítico (onde a corrente no neutro aumenta).

Outro tema ao qual é importante fazer referência é o espetro harmónico (exemplificado na figura 3.8), que consiste na decomposição do sinal nas suas respetivas componentes harmónicas. Através desta análise, podem ser vistos os harmónicos (mediante a sua ordem) e a percentagem da componente fundamental da onda original.

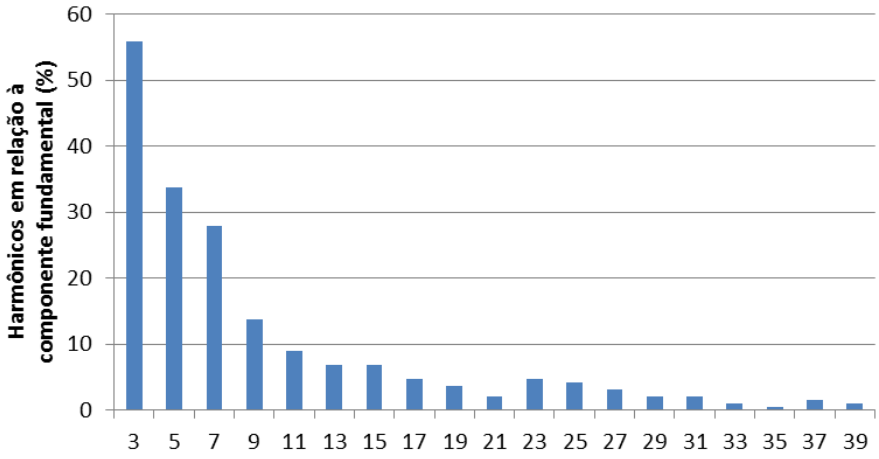


Figura 3.8: Exemplo de um espetro harmónico em relação à sua componente fundamental

3.7.2 Taxa de Distorção Harmónica (THD)

A avaliação da poluição harmónica é baseada no cálculo da taxa de distorção, determinado em percentagem e que apresenta a quantidade de harmónicos num determinado ponto. Há que ter em conta que atendendo à norma em vigor, EN 50160, o valor de THD não poderá ser superior a 8%, em 95% dos intervalos de 10 minutos [45].

Equação para cálculo de distorção harmónica para tensão:

$$THDu = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} {U_h}^2}}{U1} \tag{3.12}$$

Equação para cálculo de distorção harmónica para corrente:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} {I_h}^2}}{I1} \tag{3.13}$$

Ambas as grandezas são cruciais no estudo da distorção harmónica, pois apenas com estes valores é possível determinar as deformações das ondas de tensão e corrente, respetivamente.

3.7.3 Filtros Harmónicos

Uma das medidas de mitigar a poluição harmónica é a utilização de filtros harmónicos, utilizados para compensar a distorção existente, para que se possa obter valores de taxa que respeitem

as regulamentações atuais.

Existem quatro tipos tipologia de filtro que podem ser utilizados:

- Filtros Ativos;
- Filtros Ativos Híbridos;
- Filtros Ativos Universais;
- Filtros Passivos.

3.7.3.1 Filtros Ativos

Os filtros ativos dividem-se em três tipos: ativos (paralelo e em série), ativos híbridos e ativos universais. O filtro ativo em série é utilizado para compensar harmónicos de tensão, ao invés do paralelo que tem como função compensar os harmónicos de corrente. Por outro lado, o filtro ativo híbrido corresponde à mistura das valências dos filtros ativos e passivos. Já o filtro ativo universal é uma combinação dos filtros ativos paralelos e em série.

São constituídos por um inversor e um controlador, semelhante a um transístor bipolar de porta isolada. A sua base de funcionamento é a medição da corrente na carga através de um transformador que controla um gerador, que por sua vez, produzirá a corrente de valor necessário, com sinal inverso, para que seja possível a anulação.

Atendendo à imprevisibilidade da distorção que possa surgir, os filtros ativos funcionam como uma solução imediata ativa, adequando-se á compensação que é necessária.

O filtro ativo em série (figura 3.9) tem como princípio de funcionamento a medição das tensões (entre fase e neutro) e das correntes (entre fases), calculando posteriormente as tensões de referência. O inversor gera as tensões necessárias para a compensação, que são impostas no sistema através de transformadores.

O filtro ativo paralelo(figura 3.10) consegue também atingir o equilíbrio das correntes num sistema trifásico e compensar a energia reativa. À semelhança do filtro ativo em série, o seu controlador mede correntes e tensões, ambas por fase neste caso. Após calcular as correntes de referência, o inversor gera as correntes para a compensação.

O filtro ativo híbrido (figura 3.11), na medida em que conjuga as valências de filtros passivos e ativos, consegue apresentar melhor resposta que ambos a atuar de forma isolada. Usualmente, as correntes com menor amplitude são eliminadas pela sua parte ativa e as de maior amplitude pela parte passiva.

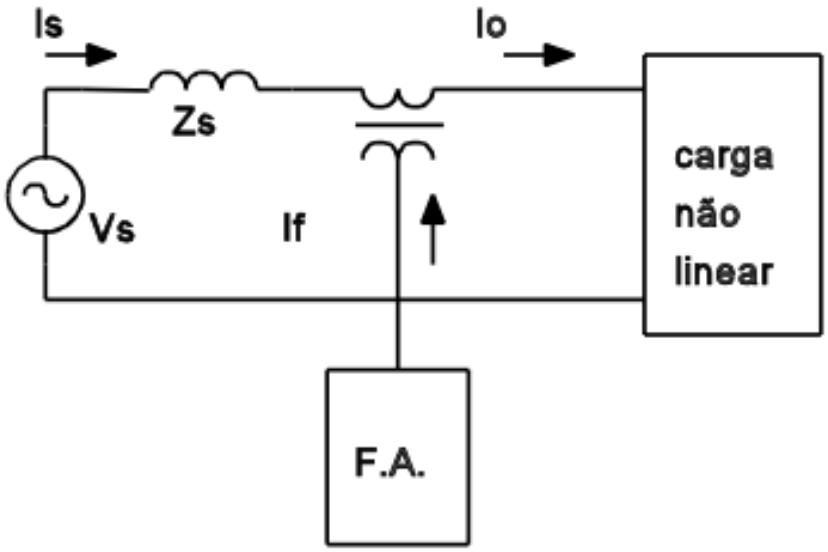


Figura 3.9: Exemplo de filtro ativo em série

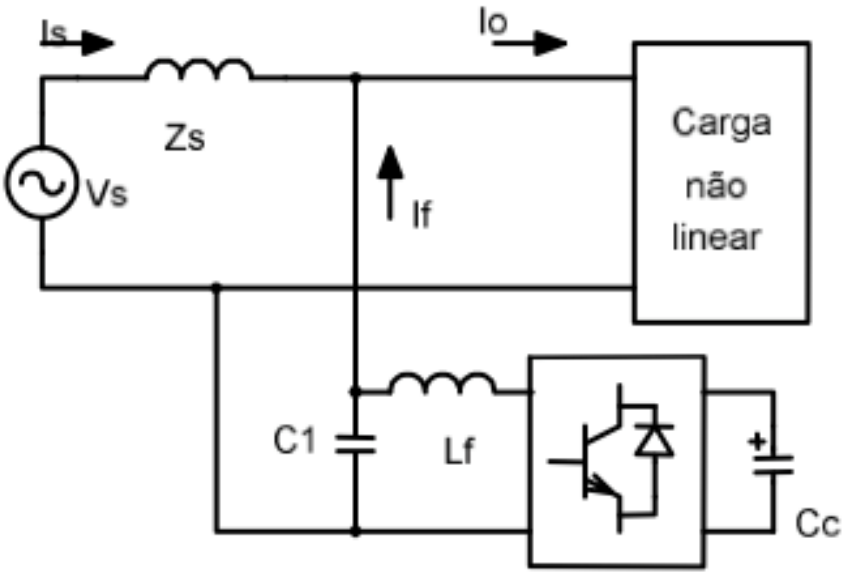


Figura 3.10: Exemplo de filtro ativo paralelo

O filtro ativo universal (figura 3.12) permite a compensação simultânea de correntes e tensões. A sua instalação deve ser feita próxima das cargas para que seja possível reduzir as perdas joule nos cabos, impedindo o fluxo das correntes harmónicas no sistema remanescente.

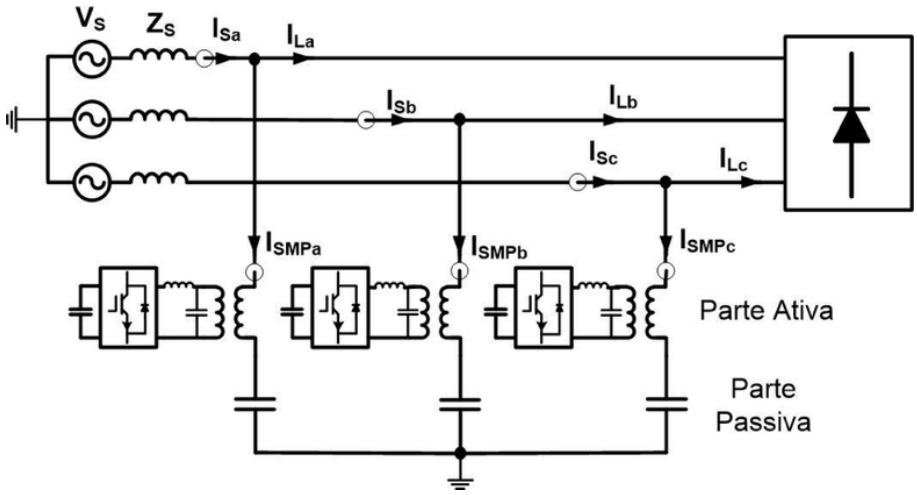


Figura 3.11: Exemplo de filtro ativo híbrido

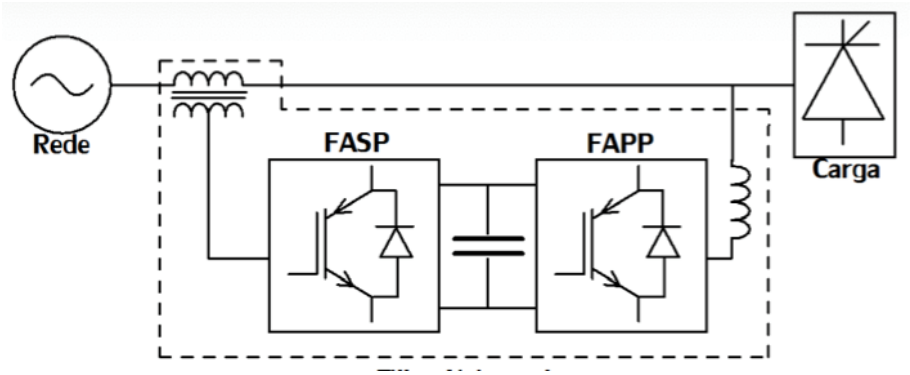


Figura 3.12: Exemplo de filtro universal

3.7.3.2 Filtros Passivos

Os filtros passivos (figura 3.13) são formados a partir de um condensador e de uma indutância, sendo, geralmente, incorporados no sistema em paralelo com a fonte de alimentação. A sua impedância é nula com o objetivo de se eliminar a frequência em causa, e muito reduzida para as restantes frequências disponíveis.

Consegue aumentar o fator potência e as suas perdas são muito reduzidas. Para além de ser de fácil instalação e de complexidade relativamente simples, pode ser adequado à compensação necessária, ou seja, a adição de novas indutâncias é possível.

A sua prestação na redução da distorção é bastante aceitável, ainda que limite a possibilidade de variar as cargas do sistema, obrigando a um redimensionamento quando necessário. Pode afetar a rede, criando ressonâncias e a sua aplicação não é sustentável quando utilizada uma banda larga de sinais e também limita as potências a utilizar (pequenas potências), visto que apresenta uma bobine com elevado tamanho.

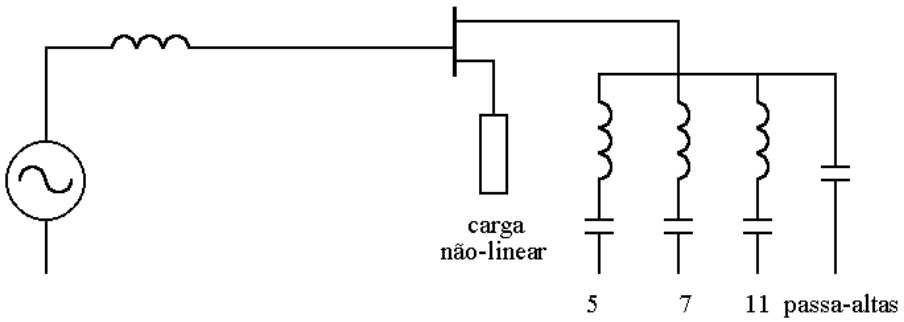


Figura 3.13: Exemplo de filtro passivo

Capítulo 4

Iluminação

A iluminação é uma das características essenciais e preponderantes no estudo energético de qualquer tipo de edifício. Para além disso, atendendo a este estudo em concreto de um edifício escolar, onde para além de existir atividade académica, há também atividade laboral, a iluminação e todos os seus fatores associados são da maior importância. Revela-se fundamental que a instalação seja adequada, de forma a não afetar o trabalho efetuado, bem como a origem efeitos de saúde negativos nos trabalhadores e utilizadores da escola.

Por outro lado, atendendo à necessidade de uma boa iluminação por todo o edifício, a quantidade de equipamentos associados a este tema serão de uma grande quantidade, sendo o seu correto dimensionamento, para além das características referidas anteriormente, importante para que os custos referentes ao consumo não sejam exorbitantes e o impacto ambiental seja o menor possível.

A escolha ideal de equipamentos ambientalmente e economicamente sustentáveis, com o correto nível e qualidade de iluminação, deve ser feita tendo em conta a necessidade de luz para cada divisão (atendendo ao tipo de ambiente e ao trabalho realizado na mesma).

4.1 Grandezas consideradas na iluminação

Para que seja efetuado um correto estudo luminotécnico, é necessário analisar e calcular as grandezas e propriedades particulares da luz, representadas na figura 4.1, de forma a que sejam tidos em conta todos os seguintes conceitos para que a instalação seja realizada da maneira mais rentável a nível energético e financeiro.

4.1.1 Fluxo Luminoso

O Fluxo Luminoso, ilustrado na figura 4.2, representado pela letra f, corresponde à quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa.

A sua unidade de medida SI é o lúmen (lm), por sua vez, o cálculo da eficiência luminosa é feito através da divisão do fluxo luminoso pela potência consumida da lâmpada (Watt), sendo a sua unidade de media o lúmen por Watt (lm/W).

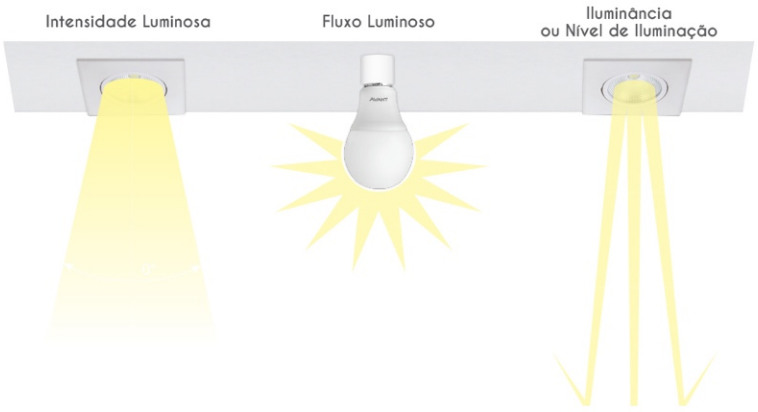


Figura 4.1: Representação física de Grandezas de Iluminação

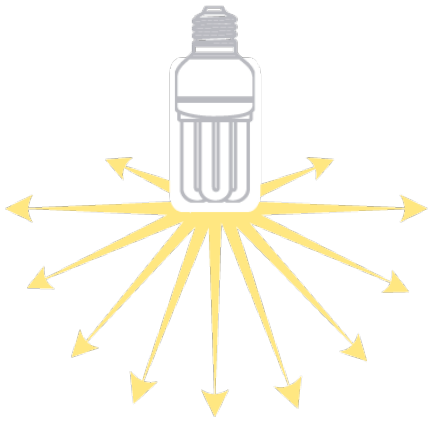


Figura 4.2: Representação de um Fluxo Luminoso

4.1.2 Intensidade Luminosa

Esta grandeza, representada pela letra I, determina-se a partir do fluxo luminoso que é emitido numa determinada direção por um ângulo sólido nessa mesma direção, medindo-se em candelas (cd). Atendendo ao facto de os fluxos não emitirem em todas as direções de forma uniforme, surge a necessidade de se medir o valor de lumens em todas as direções. Dessa forma, com os equipamentos, os fabricantes disponibilizam diagramas fotométricos (representam a dispersão a luz do equipamento em questão), como demonstrado na figura 4.3.

4.1.3 Iluminância

A iluminância, ilustrada na figura 4.4, é a grandeza que corresponde ao fluxo luminoso que incide numa determinada área iluminada, sendo uma das mais importantes grandezas associadas à área da iluminação. Mede-se em lux (lx), que representa um lúmen incidente de forma uniforme e perpendicular num metro quadrado. O seu valor é variável mediante o ponto onde é feita a

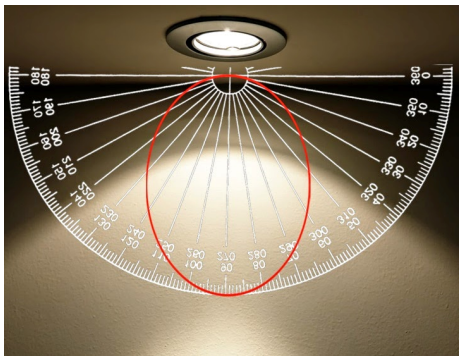


Figura 4.3: Exemplo de um diagrama fotométrico sobre uma fonte luminosa

sua medição. Dessa forma, para que seja efetuada uma medição fiel à realidade, recorre-se à iluminância média.

A iluminância média (utilizada posteriormente no caso de estudo para realizar as medições com o luxímetro) é a média aritmética de todos os valores medidos nos diferentes pontos da mesma superfície.

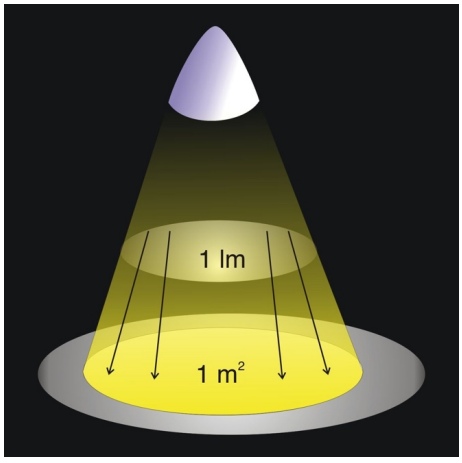


Figura 4.4: Iluminância

4.1.4 Luminância

A Luminância (figura 4.5), representada pela letra L, é intensidade luminosa emitida/refletida numa superfície em direção ao recetor da luz (podendo ser o olho humano). É a única grandeza luminosa perceptível pelo ser humano, sendo o que nos dá a sensação de luz e de forma dos objetos. A sua unidade de medida é a candela por metro quadrado (cd/m^2).

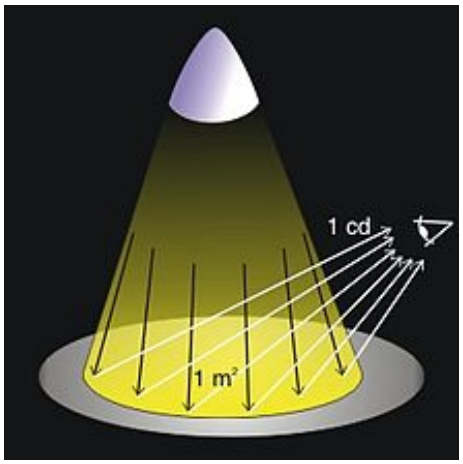


Figura 4.5: Luminância

4.2 Lâmpadas

4.2.1 Características das Lâmpadas

4.2.1.1 Temperatura da Cor da luz

Corresponde a uma comparação entre a cor da luz emitida por um corpo negro aquecido até uma dada temperatura (em kelvin) e a cor que utilizamos para comparação. Quanto mais baixa a temperatura da cor, mais escura é a sua tonalidade. Por outro lado, as fontes de luz quente, apresentam uma cor mais clara, suave e mais estimulante. Na figura 4.6 está representada uma escala de temperatura de cor.

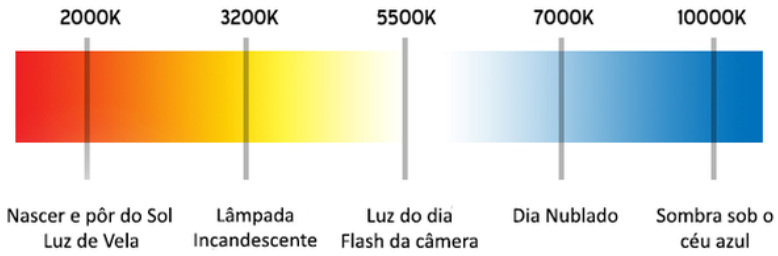


Figura 4.6: Escala de Temperatura de Cor

4.2.1.2 Classe de Eficiência

Classificando as lâmpadas de acordo com a sua eficiência luminosa, podem ser separadas em sete categorias (A, B, C, D, E, F e G), sendo a primeira a classe mais eficiente, diminuindo consecutivamente até à última. Como será explicado posteriormente, numa reavaliação da etiqueta, a escala é alterada para promover soluções mais eficientes [46].

Tabela 4.1: Classificação de acordo com o Índice de Reprodução Cromática

Índice de Reprodução Cromática	**Classificação**
CRI<50	Insuficiente
50<CRI<70	Razoável
70<CRI<80	Bom
80<CRI<90	Muito Bom
CRI>90	Excelente

4.2.1.3 Duração de Vida Média

Esta característica luminotécnica indica o número de horas em que a lâmpada fornece mais do que uma percentagem "x", previamente definida, de fluxo luminoso inicial, em condições especificadas. É considerada a sua vida útil para 50% da população total.

4.2.1.4 Rendimento Luminoso

O rendimento luminoso é um indicador de eficiência que avalia a conversão de energia em luz, resultando do quociente entre o fluxo luminoso e a potência absorvida pela lâmpada. Exprime-se em lúmen por Watt (lm/W).

4.2.1.5 Restituição Cromática

Representa-se pelo Índice de Reprodução Cromática (CRI), que apresenta valores entre 0 e 100, como se encontra descrito na tabela 4.1, onde é demonstrado o grau de confiança com que as fontes luminosas revelam as cores dos objetos em questão quando iluminados por uma fonte de luz ideal ou por luz natural. A escala tem um comportamento inverso à temperatura da cor, ou seja, os valores mais quentes (temperatura baixa) têm facilmente maiores valores de CRI [47].

4.2.2 Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes podem dividir-se em dois tipos de lâmpadas diferentes, sendo agrupados devido à semelhança do seu princípio de funcionamento: lâmpadas de filamento e lâmpadas de halogéneo.

As lâmpadas incandescentes de filamento (figura 4.7) são constituídas por um filamento de tungsténio que está dentro de uma ampola de vidro. Em conjunto com o filamento, dentro da ampola, está também um suporte de molibdénio e gás inerte. Com a passagem de corrente elétrica pelo filamento (que apresenta elevada resistência elétrica), é libertada energia sob a forma de luz e calor.

A sua aplicação tem vindo a decair gradualmente, visto que o seu rendimento (10-17 lm/W) é o menor de todas as lâmpadas disponíveis no mercado. A sua duração de vida é de cerca de 1000 horas (valor muito reduzido) e a sua temperatura de cor não é ideal. Por outro lado, são baratas e

o seu CRI é muito positivo.

Figura 4.7: Lâmpada Incandescente de Filamento

No caso das lâmpadas de halogéneo (figura 4.8), à semelhança das anteriores, apresentam o mesmo princípio de funcionamento, tendo também gases inertes, mas com a adição de gases halogénicos (bromo, cloro e iodo). Os gases halogénicos permitem que os átomos de tungsténio libertados aquando da passagem de corrente elétrica não se depositem na ampola, mas voltem ao filamento novamente promovendo o ciclo regenerativo.

Este tipo de lâmpadas apresenta uma maior tempo de vida (de 2000 a 4000 horas), maior rendimento (cerca de 25 lm/W) em relação às lâmpadas de incandescência tradicionais, o que permite reduzir o seu tamanho para a mesma potência.

Figura 4.8: Lâmpada de Halogéneo

4.2.3 Lâmpadas de Descarga

Este tipo de lâmpadas (figura 4.9) pode ser divido em dois grupos consoante a pressão de descarga: lâmpadas de alta pressão e lâmpadas de baixa pressão. Por sua vez, ambos os grupos, se podem subdividir nos seguintes tipos:

i) Lâmpadas de Alta Pressão:
- Lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão;

- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos.

ii) Lâmpadas de Baixa Pressão:
- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão;
- Lâmpadas fluorescentes;
- Lâmpadas fluorescentes compactas.

Figura 4.9: Lâmpada de Descarga

4.2.3.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

Estas lâmpadas (figura 4.10) são usualmente utilizadas em espaços com grandes dimensões, daí apresentarem grande aplicação em iluminação pública ou em aeroportos.

Dentro do grupo de lâmpadas de descarga, são relativamente mais baratas e apresentam uma boa durabilidade (de 10000 a 12000 horas de vida). A sua eficiência ronda os 50 lm/W e o seu IRC é reduzido, entre 40 a 50. A sua luz apresenta uma cor branco-azulada.

Dentro do seu bulbo de vidro, esta lâmpada apresenta um tudo de descarga transparente que envolve quatro elétrodos (dois principais e dois auxiliares) e vapor de mercúrio e árgon.

4.2.3.2 Lâmpadas de luz mista

As lâmpadas mistas (figura 4.11) consistem na aglomeração de tecnologia correspondente a lâmpadas incandescentes e de descarga. Neste caso específico, o filamento de tungsténio encontra-se em série com o tubo de descarga, permitindo o arranque e a emissão do fluxo de luz, respetivamente. Têm duração média de 2000 horas, IRC de cerca de 60, rendimento de 26 lm/W e temperatura de cor entre os 3400 e 3800 Kelvin. São geralmente utilizadas em iluminação de espaços comerciais.

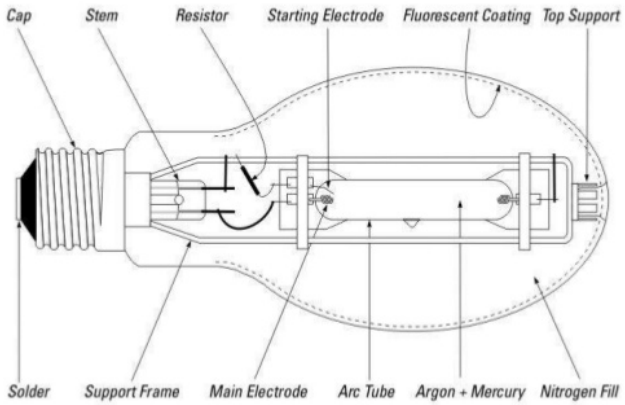


Figura 4.10: Constituição de uma lâmpada de vapor de mercúrio a alta pressão

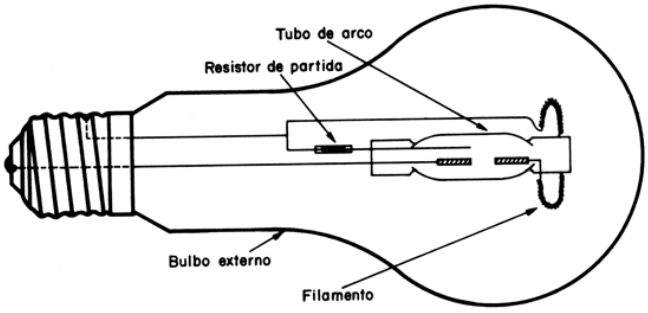


Figura 4.11: Constituição de uma lâmpada de luz mista

4.2.3.3 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

Ao invés dos tipos anteriores, o tubo de descarga das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (figura 4.12) é cerâmico com dois elétrodos, um em cada ponta. Quando a lâmpada está a funcionar, o excesso de sódio e de mercúrio possibilitam a saturação do vapor e viabilizam a proteção. Para além disso, o xénon existente atua como promotor do arranque.

São utilizadas maioritariamente em iluminação pública ou em ambiente industrial, visto que o seu IRC é bastante elevado (varia de 80 a 95). A sua esperança média de vida é, em média, de 20000 horas, o seu rendimento de 130 lm/W e a sua temperatura de cor encontra-se entre os 1900 e os 2500 Kelvin. Como podemos ver pelos valores descritos, apresentam elevada durabilidade e rendimento.

4.2.3.4 Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos

Respetivamente às lâmpadas de vapor de mercúrio (figura 4.13), a grande diferença a destacar é a mistura de elementos presente no tubo de descarga, composta por iodetos de sódio, de tálio e de índio. Apresentam um custo muito elevado, o que limita a sua utilização em massa. O seu

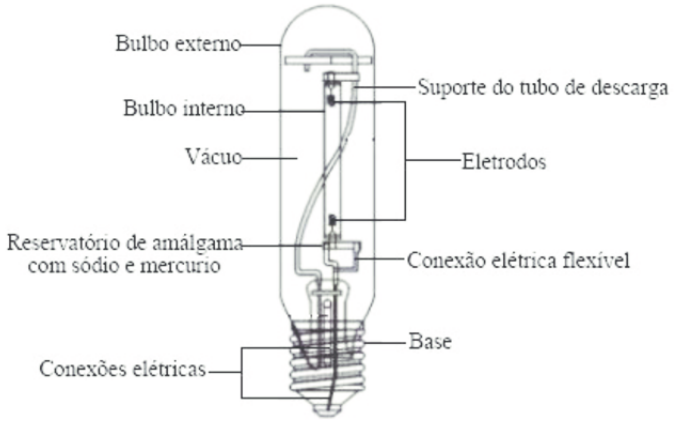


Figura 4.12: Constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

rendimento é de 80 lm/W, a sua durabilidade varia de 3000 a 9000 horas e o seu IRC é muito alto (entre 80 e 95).

Figura 4.13: Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos

4.2.3.5 Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

As lâmpadas de vapor de sódio a baixa pressão (figura 4.14) utilizam, como o nome indica, sódio ao invés de mercúrio. A sua principal desvantagem é o tempo de arranque, devido ao estado sólido do sódio que atrasa este tempo (aproximadamente 10 minutos), demorando a atingir o seu rendimento máximo. Ainda assim, o seu rendimento é dos mais elevados, chegando aos

200 lm/W. São preferencialmente utilizadas no exterior devido ao seu quase nulo IRC, a sua luz apresenta uma cor amarela e tem uma duração média de vida bastante alta (em média 12000 horas de funcionamento).

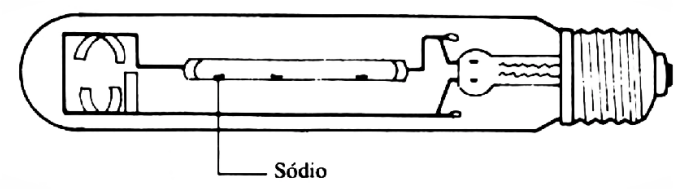


Figura 4.14: Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

4.2.3.6 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são também conhecidas como lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão. Estas lâmpadas funcionam através de uma descarga dentro do tubo (com vapor de mercúrio e árgon), produzindo radiação ultravioleta. Por sua vez, esta radiação é transformada em radiação visível devido à substância fluorescente existente no revestimento interior do tubo. Mediante a composição do pó fluorescente, a cor e a temperatura da luz podem ser diferentes.

Relativamente às suas características, este tipo de lâmpadas apresenta um duração de vida média entre as 7000 e as 10000 horas, um rendimento que ronda os 100 lm/W, uma temperatura de cor entre os 2700 e os 5000 graus kelvin e um índice de restituição de cores dentro de um intervalo de 85 a 95.

Os primórdios existenciais destas lâmpadas (fluorescentes tubulares, ilustradas na figura 4.15) surgiram com o desenvolvimento do tipo T12 que utilizava uma substância fluorescente básica, com um tubo de descarga de 38 mm de diâmetro, passando posteriormente, com o tipo T10 para 33,5 mm, T8 com 26mm e T5 com 16mm. Para além da diminuição do tamanho do diâmetro, houve também desenvolvimentos na qualidade da luz, uma vez que as lâmpadas T8 são tri-fosfóricas e apenas utilizam 3 mg de mercúrio, tal como as lâmpadas T5 que funcionam com uma substância tri-fosfórica mais desenvolvida de forma a disponibilizar melhor IRC e rendimento.

As lâmpadas fluorescentes compactas (figura 4.16) funcionam da mesma maneira e através da mesma tecnologia que o tipo descrito anteriormente. Neste caso, apresentam mais do que um tubo de descarga em formato de 'U'.

A sua posição no mercado é de concorrência às lâmpadas incandescentes, visto que o seu tamanho é muito similar, o seu consumo é muito reduzido e o rendimento é mais elevado (50 a 70 lm/W), cerca de 3/4 vezes superior. Por outro lado, o seu preço é bastante mais elevado que as suas concorrentes. A sua duração média de vida ronda as 9000 horas, o seu IRC varia entre 85 a 90 e a sua temperatura de cor encontra-se entre 2700 e 5400 Kelvin.

Figura 4.15: Lâmpada fluorescente tubular

Figura 4.16: Lâmpada fluorescente compacta

4.2.4 Lâmpadas de indução

Ao invés de elétrodos, estas lâmpadas (figura 4.17) possuem um núcleo de ferrite, sendo que o seu campo magnético induz uma corrente elétrica no gás presente no seu interior, que origina a ionização e libertação de radiação ultravioleta. Esta radiação é transformada posteriormente em luz visível quando percorre o revestimento fosfórico (tal como nas lâmpadas fluorescentes). A sua aplicação é efetuada, em regra, em iluminação de espaços amplos, nomeadamente pavilhões industriais e túneis públicos.

O seu IRC apresenta valores na ordem dos 80, a sua durabilidade expectável é de 60000 horas, o seu rendimento luminoso varia de 65 a 80 lm/W e a sua temperatura de cor situa-se entre os

3000 e 4000 Kelvin.

Figura 4.17: Lâmpada de indução

4.2.5 Lâmpadas LED

As lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) (figura 4.18) utilizam uma tecnologia mais sustentável (sem recurso a metais pesados) e rentável que as suas anteriores. Através da utilização da corrente para aquecimento do díodo semicondutor, é emitida a luz, que pode ser de diferentes cores, mediante o material do semicondutor. Ainda que o seu custo seja superior, apresentam dimensões mais reduzidas, um maior rendimento (cerca de 125 lm/W), uma duração média de vida excecional (entre 50000 a 10000 horas) e um IRC elevado (geralmente de 85). Estes tipos de lâmpadas podem consumir até menos 75% de energia que as descritas anteriormente, o que justifica a elevada procura e aplicação desta tecnologia.

Figura 4.18: Lâmpadas LED

4.3 Comparação de tipo de Lâmpadas

Visto que a base de estudo da presente tese é a melhoria da eficiência energética na escola, é essencial que se proceda à comparação dos tipos de lâmpadas disponíveis no mercado, para que possa ser analisado o cenário atual e, seguidamente, demonstradas as conclusões no capítulo que aprofunda o caso de estudo [48].

Apresenta-se a tabela 4.2 para que possa ser feita a comparação de todas as lâmpadas, destacando os pontos positivos e negativos correspondentes a cada uma.

Tabela 4.2: Comparação entre os tipos de lâmpada analisados

Lâmpada	Pontos Negativos	Pontos Positivos
Incandescentes de Filamento	- Rendimento muito baixo - Durabilidade muito curta - Calor Produzido em grande quantidade - Proibidas na Europa desde 2012	- Reduzidas dimensões - IRC bastante bom - Reduzido preço - Bom tempo de arranque
Incandescentes de Halogéneo	- Rendimento muito baixo - Durabilidade muito curta - Proibidas na Europa desde 2018	- Reduzidas dimensões - IRC bastante bom - Reduzido preço - Bom tempo de arranque
Vapor de mercúrio de alta pressão	- Tempo de arranque superior - Elevado preço - IRC baixo	- Bom rendimento - Reduzidas dimensões - Elevada durabilidade
Vapor de sódio de alta pressão	- Tempo de arranque superior - Elevado preço	- Bom rendimento - Reduzidas dimensões - Elevada durabilidade
Vapor de mercúrio de iodetos	- Elevado preço - Tempo de arranque superior	- Bom rendimento - Reduzidas dimensões - Elevada durabilidade - Bom IRC
Vapor de sódio de baixa pressão	- Tempo de arranque muito superior - Elevado preço - Elevadas dimensões - IRC muito baixo	- Ótimo rendimento - Elevada durabilidade
Fluorescentes tubulares	- Elevado comprimento - Necessidade de componentes extra	- Muito bom rendimento - Muito bom IRC - Elevada durabilidade
Fluorescentes compactas	- Necessidade de componentes extra	- Reduzidas dimensões - Ótimo rendimento - Elevada durabilidade - Bom IRC - Várias tonalidades disponíveis
Indução	- Elevado preço	- Ótimo rendimento - Muito elevada durabilidade - Bom IRC
LEDs	- Elevado preço	- Ótimo rendimento - Reduzidas dimensões - Elevada durabilidade - Consumo reduzido

4.3.1 Rendimento Luminoso

O rendimento luminoso é um importante fator a ter em conta aquando da comparação de lâmpadas. Como pode ser verificado através tabela 4.3 e da figura 4.19, os rendimentos das diferentes lâmpadas disponíveis no mercado são bastante diferentes.

Tabela 4.3: Rendimentos relativos a cada tipo de lâmpada

Lâmpada	**Rendimento médio (lm/W)**
Incandescentes de Filamento	15
Incandescentes de Halogéneo	25
Luz Mista	50
Vapor de mercúrio de alta pressão	26
Vapor de sódio de alta pressão	130
Vapor de mercúrio de iodetos	80
Vapor de sódio de baixa pressão	200
Fluorescentes tubulares	100
Fluorescentes compactas	60
Indução	77
LEDs	125

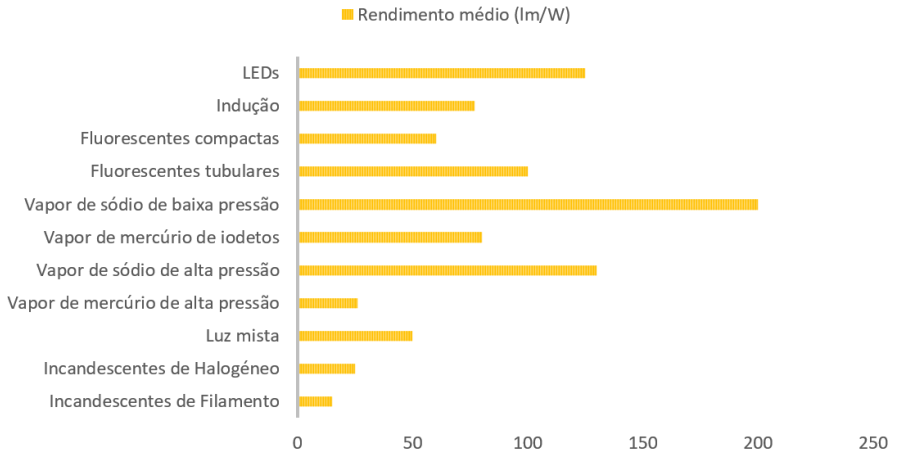


Figura 4.19: Rendimento médio em cada tipo de Lâmpada

Atendendo ao facto que as lâmpadas incandescentes, de filamento e halogéneo, estão proibidas no mercado da União Europeia desde 2012 e 2018, respetivamente, podem não ser consideradas para investimento [49] [50].

Visto que o estudo efetuado para a presente dissertação incide nos espaços interiores da EHTP, o foco será dado nas lâmpadas LED, de indução e de baixa pressão, tendo em conta que são também as que melhor rendimento apresentam.

4.3.2 Classes de Eficiência

Atendendo à crescente preocupação com o ambiente e, consequentemente com a eficiência energética associada a aparelhos elétricos e eletrónicos, uma das medidas da União Europeia foi a classificação de aparelhos de acordo com eficiência energética. A escala definida tem 7 classes de eficiência, de A (mais eficiente) a G (menos eficiente).

Prevê-se que as classes energéticas sejam revistas periodicamente. Num segundo momento de avaliação, após estar em vigor algum tempo (tipicamente dois anos), são introduzidas novas classes, A+++, A++ e A+. Trata-se de uma forma de promover o desenvolvimento de soluções mais eficientes por parte dos fabricantes, eliminando as duas classes mais baixas.

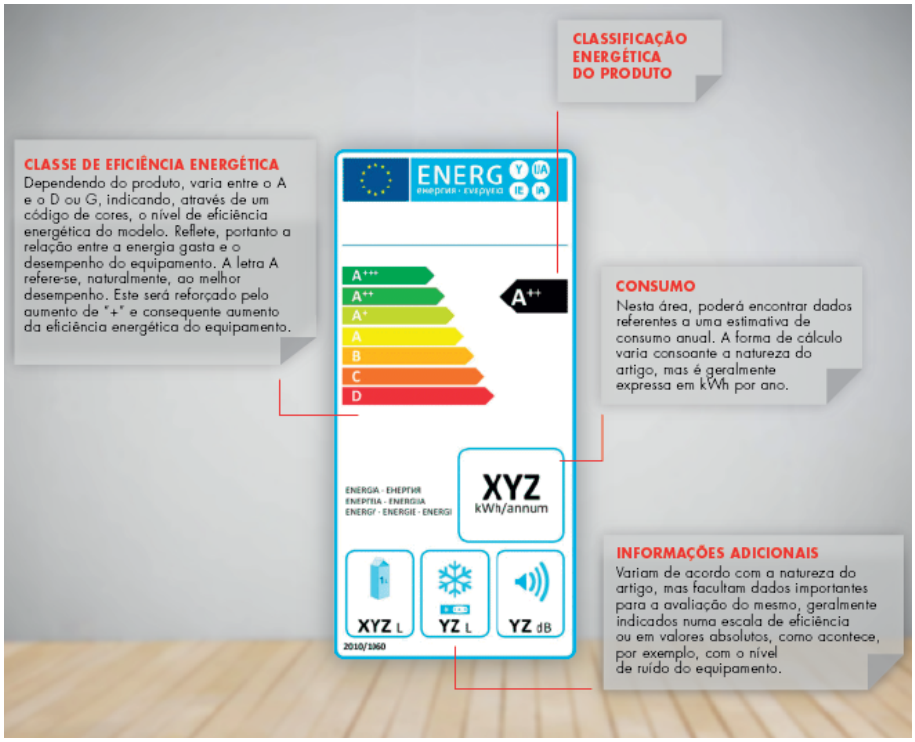


Figura 4.20: Etiqueta de Eficiência Energética

A etiqueta energética, representada na figura 4.20, consiste num rótulo que apresenta as informações acerca da eficiência energética, o consumo e características associadas a equipamentos domésticos. Esta etiqueta simplifica e normaliza a informação disponibilizada ao consumidor, facilitando o processo de seleção de um equipamento [51].

As lâmpadas previamente analisadas têm os seguintes níveis de eficiência energética:

- Incandescentes de Filamento: E;
- Incandescentes de Halogéno: C ou D;
- Vapor de mercúrio a alta pressão: B;

- Vapor de sódio a alta pressão: A;
- Vapor de mercúrio de iodetos: A;
- Vapor de sódio de baixa pressão: A+;
- Fluorescentes tubulares: A++, A+ ou A;
- Fluorescentes compactas: A++, A+ ou A;
- LEDs: A++, A+ ou A.

4.4 Balastros

Os balastros fazem parte do equipamento auxiliar necessário para o funcionamento de algumas lâmpadas. São necessários para o acendimento de lâmpadas de descarga, sendo o seu principal objetivo a produção da tensão de arranque, a limitação da corrente de funcionamento, a adaptação das tensões existentes, bem como a conversão de frequências para valores mais elevadas (melhorando o rendimento e diminuindo o consumo).

Podem ser eletromagnéticos e eletrónicos, no entanto a utilização do primeiro tipo foi proibida na União Europeia. Este tipo era constituído por bobinas de cobre e núcleo de aço silício. Devido às suas bobinas e consequente baixo fator potência, exigiam aparelhos de compensação de fator potência em grandes instalações.

No caso dos balastros eletrónicos, a sua utilização tem bastantes vantagens, sendo a mais importante um rendimento das lâmpadas mais elevado. Apresentam circuitos integrados, resistências, bobinas e condensadores para altas frequências [48].

4.4.1 Balastros Eletrónicos

Em relação a balastros eletromagnéticos, os balastros eletrónicos revelam-se vantajosos devido ao elevado fator potência, à possibilidade de se reduzir o consumo energético e ao aumento da esperança média de vida das lâmpadas. Para além disso, impedem o ruído audível e a cintilação das lâmpadas (devido ao seu funcionamento a altas frequências) e permitem que o equipamento seja desligado aquando de uma anomalia.

Têm também outros pontos positivos tais como a eliminação do efeito *flicker* (extinção da luz duas vezes por ciclo sempre que a corrente é 0, para 50 Hz de frequência), a regulação do fluxo luminoso (nomeadamente em espaços desocupados durante certos períodos de tempo), o seu funcionamento apresenta menores temperaturas que a alternativa e, por fim, os seus componentes são mais leves e de menor tamanho.

Existem três tipos de balastros eletrónicos, referidos em baixo, do mais eficiente ao menos.

- A1: balastros eletrónicos com regulação;

- A2: balastros eletrónicos com perdas reduzidas;
- A3: balastros eletrónicos *standard*.

4.5 Luminárias

A luminária é composta pelo suporte da lâmpada e pelo corpo da luminária e pelo sistema ótico, servindo para garantir o melhor aproveitamento possível da unidade de iluminação, protegendo e fixando a lâmpada. É também responsável por controlar, filtrar e distribuir a luz emitida para que seja promovido o conforto do utilizador.

O sistema ótico pode apresentar difusores e refletores existentes para que sejam possíveis as modificações de luz necessárias. O difusor tem como objetivo evitar o encandeamento e permitir a suavização dos contrastes zonais. O refletor (localizado acima da lâmpada) tem como função refletir a luz que seria inutilizada, por exemplo luz que iria para o teto ou uma parede.

4.6 Gestão da Iluminação

De forma a maximizar a potencialidade do sistema de iluminação, é feita uma gestão ponderada na utilização dos recursos conjugada com a existência de luz natural. Aproveitando a luz natural em certos locais da instalação em causa, é possível diminuir a utilização de luz artificial, o que traz diversas vantagens, tanto em questões de poupança energética e financeira, como na sustentabilidade ambiental.

A gestão da iluminação pode derivar de uma série de práticas como:
i) Gestão horária;
ii) Zonagem;
iii) Deteção de presença ou movimento;
iv) Gestão de acordo com a luz natural;
v) Centralização da gestão.

Para que seja atingida a maior poupança associada à gestão de iluminação, devem ser conjugadas as várias técnicas para que se complementem da melhor forma.

4.6.1 Gestão Horária

Quando a instalação em análise se encontra em edifícios que apresentam horários de utilização fixos a nível diário ou mensal, é possível e recomendado que seja feita uma gestão horária dos equipamentos de iluminação.

A sua forma mais básica é através de interruptores automáticos, que são pressionados pelo utilizador e que estão programados para desligar a iluminação ao fim de um certo período de tempo, permitindo uma circulação iluminada nesse espaço.

Este processo pode ainda ser concretizado através da instalação de interruptores horários (analógicos e digitais) que permitem que a iluminação tenha um horário que esteja previamente definido e programado (por exemplo desligar aos fins de semana ou feriados).

Podem ser também utilizados interruptores astronómicos que regulam o fluxo luminoso mediante a longitude e latitude do local evitando gastos desnecessários.

4.6.2 Zonagem

Divisão dos circuitos de iluminação mediante a existência de luz natural e o local de instalação dos equipamentos. Ou seja, consiste, por exemplo, na separação da iluminação de uma sala, entre as armaduras mais próximas do exterior e as mais interiores. A sua aplicabilidade exige alguma sensibilidade dos utilizadores, visto que após efetuada uma instalação, requer alterações ao nível dos circuitos, não esquecendo que o seu controlo é manual.

4.6.3 Deteção de Presença ou Movimento

Este método de gestão é ideal para locais onde a utilização é temporária, permitindo que a iluminação seja ligada e desligada mediante a presença ou travessia de um utilizador.

Podem ser divididos em três tipos:

- Detetores volumétricos de ultrassons: detetam o movimento de um corpo através à variação das ondas sonoras refletidas no mesmo;

- Detetores volumétricos de infravermelhos passivos: detetam o corpo através da sua libertação de calor;

- Detetores bi-volumétricos: apresentam tecnologia híbrida dos dois tipos anteriores.

Podem ainda ser ajustados para ao invés de ligar, ajustar o fluxo luminoso de valores mais baixos para valores mais altos mediante necessidade.

4.6.4 Gestão de acordo com a Luz Natural

Medida aplicada tendo em conta a luz natural, desligando ou adaptando o fluxo luminoso mediante a existência de luz natural de um certo local. Permite a iluminação de uma zona que não necessita de iluminação artificial durante um certo período, mas apenas nas horas em que a luz exterior não é suficiente. Funciona através de sensores fotoelétricos que devem estar bem instalados e localizados. Para além disso, torna também possível a regulação do fluxo luminoso atendendo à iluminação interior, para que a iluminância seja a necessária para qualquer espaço que seja maioritariamente iluminado artificialmente.

4.6.5 Centralização da Gestão

A centralização da gestão da iluminação consiste numa integração de todos os equipamentos em paralelo num mesmo barramento de comunicação. Possibilita o controlo global do grupo ou individual dos aparelhos, facilitando a gestão de funcionamento do sistema [52].

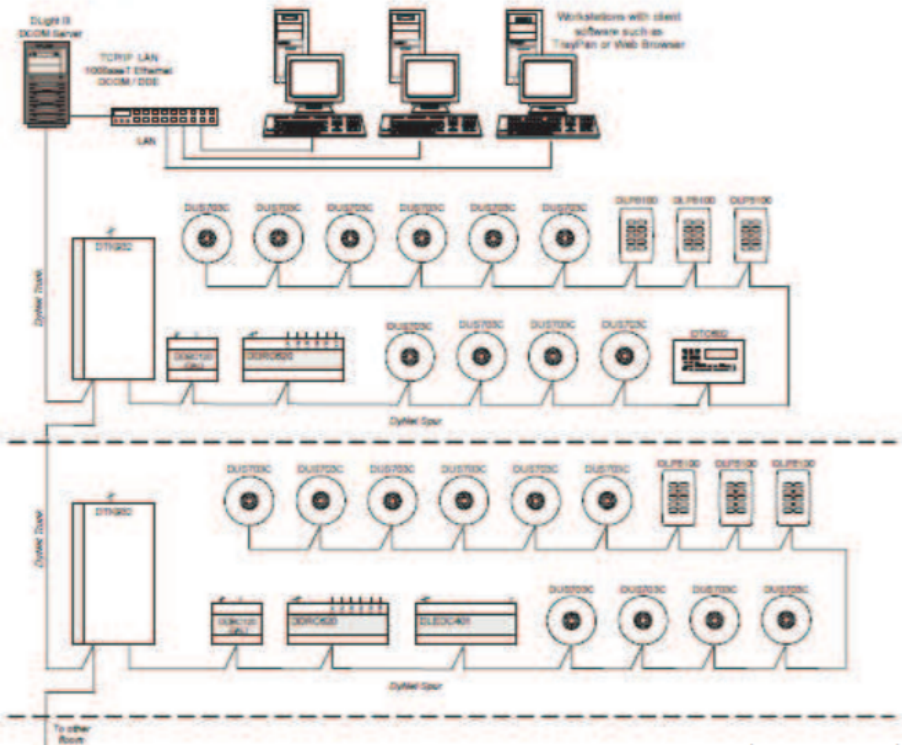


Figura 4.21: Exemplo de uma arquitetura de gestão centralizada de iluminação

Capítulo 5

Sistemas AVAC

Os sistemas de AVAC, ilustrados na figura 5.1, correspondem a tecnologias de aquecimento, ventilação e ar condicionado (corresponde ao inglês HVAC – *Heat, Ventilation and Air conditioning*). São responsáveis pela climatização dos ambientes onde é feita a sua instalação, controlando as condições de ar interior de acordo com as necessidades, em relação à temperatura, ventilação e humidade. Em alguns casos, pode ainda ser incorporada refrigeração nestas tecnologias, tratando-se, nesses casos, de AVACR.

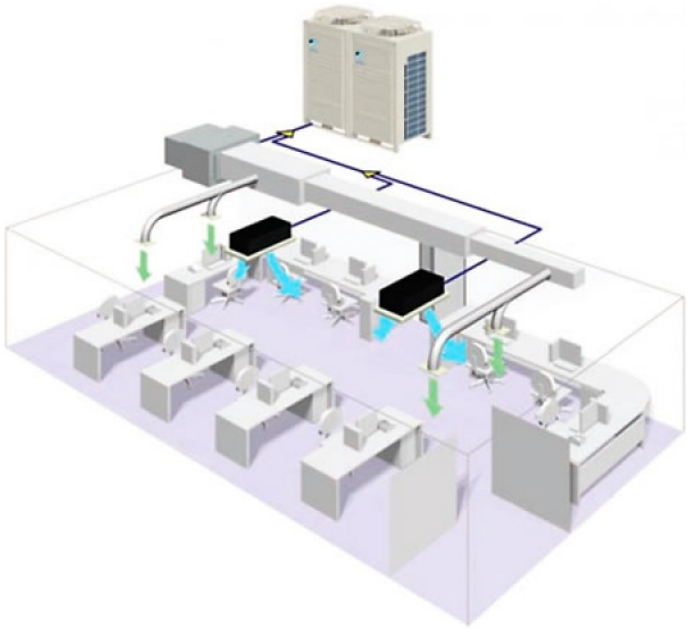


Figura 5.1: Exemplo de um sistema AVAC

5.1 Equipamentos de Sistemas de AVAC

Uma vez que existem diversas formas de climatização realizadas por este tipo de sistemas, antes de se proceder à sua classificação, devem ser descritos os principais tipos de equipamentos

que podem ser utilizados neste âmbito. Estes equipamentos podem ser agrupados formando um conjunto que apresenta uma denominação específica e que é tratado como um sistema único [53].

5.1.1 Compressor

Um compressor (figura 5.2) efetua a compressão de um gás ou de um vapor. Visto que o seu consumo energético é bastante elevado num sistema de climatização, deve ser considerado e monitorizado num processo de auditoria. O tipo de compressão pode ser de diversos tipos: alternativo, de parafuso, centrífugo, rotativo ou de espiral. Este equipamento pode ser classificado tendo em conta o seu tipo de acesso ao interior ou de acordo com a forma como a compressão é realizada.

No que toca ao tipo de acesso, podem ser classificados da seguinte forma:

i) **Compressor hermético**: acoplado a um motor elétrico, estando ambos fechados num recipiente metálico selado;

ii) **Compressor semi-hermético**: acoplado a um motor elétrico, tal como o caso anterior, mas pode ser desaparafusado para efetuar reparações locais;

iii) **Compressor aberto**: pode ser reparado no local, uma vez que se encontra aberto e separado do motor.

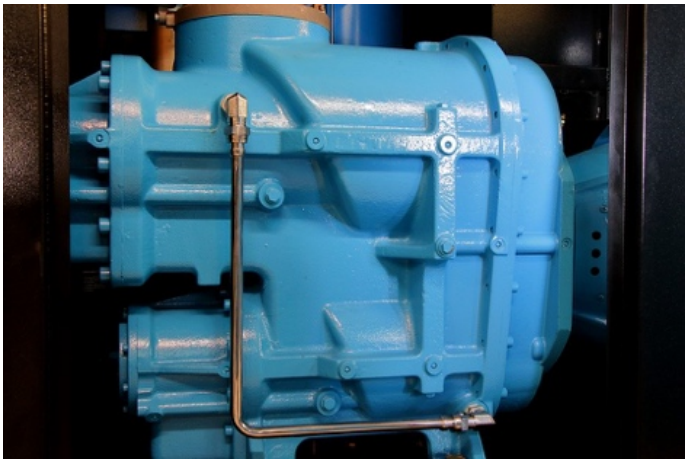


Figura 5.2: Compressor de Parafuso

5.1.2 Bomba

Uma bomba (figura 5.3) é utilizada para promover o movimento de líquidos num sistema de AVAC e tem como funções a elevação do líquido ou a recirculação. As bombas estão presentes nos circuitos secundários de água (refrigerada e quente), tal como em alguns circuitos de ligação de equipamentos. Se os horários de funcionamento e as características das bombas forem previamente conhecidos, não há necessidade de qualquer tipo de monitorização, sendo igualmente possível determinar os seus consumos.

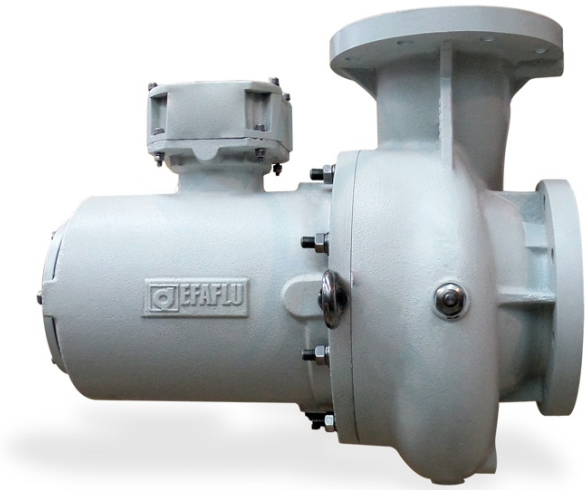


Figura 5.3: Bomba radial centrífuga

5.1.3 Ventilador

Neste tipo de equipamento (figura 5.4), o movimento do ar é promovido pelas suas partes dotadas de rotação. Destacam-se, como os mais comuns, os ventiladores axiais (de pás, onde o ar segue uma direção paralela à do seu eixo) e centrífugos (apresenta pás retas ou curvas, onde o ar é admitido ao longo do seu eixo e expelido de uma forma radial, geralmente num eixo perpendicular à admissão). Tal como as bombas, se as suas características e horários de funcionamento forem conhecidos, é possível estimar os seus consumos.

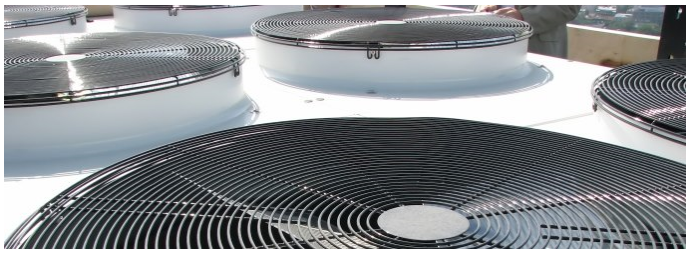


Figura 5.4: Ventilador de um sistema AVAC

5.1.4 Bomba de Calor

Este sistema de climatização tem como objetivo o aproveitamento de calor libertado pelo condensador. Mediante o princípio segundo o qual funcionam, podem ser de absorção ou de compressão de vapor. Para além disso, podem ser do tipo simples ou do tipo reversível, onde o sistema tanto funciona como um frigorífico ou como uma bomba de calor.

Uma bomba de calor (figura 5.5) de absorção é constituída por um gerador, um absorvedor, um mecanismo de expansão, uma bomba, um condensador e um evaporador. Por outro lado,

uma bomba de calor de compressão de vapor apresenta um evaporador, um condensador, um mecanismo de expansão, um compressor e um separador de óleo.

Figura 5.5: Bomba de Calor

5.1.5 Permutador de Calor

O permutador de calor (figura 5.6) é utilizado para se proceder à troca de calor entre dois corpos que não estão em contacto. Podem ser de diferentes tipos, tais como: condensadores, recuperadores, evaporadores, tanques de gelo ou depósitos de acumulação, mediante o seu objetivo de utilização.

5.1.6 Condensador

Os condensadores têm como objetivo remover calor do sistema. São permutadores de calor e efetuam a sua troca com um fluido externo ou diretamente como ar. Podem ser dos seguintes tipos:

i) **Condensador evaporativo**: a parte exterior dos tubos do condensador é molhada com água para que seja fomentada a troca de calor;

ii) **Condensador arrefecido a água**: utiliza água como fluido externo para as trocas de calor;

iii) **Condensador arrefecido a ar**: utiliza o ar exterior como fluido para as trocas de calor.

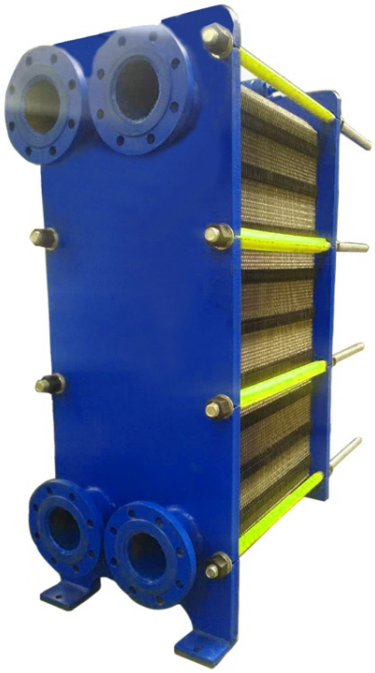


Figura 5.6: Permutador de Calor

5.1.7 Recuperador

Um recuperador (figura 5.7) é um permutador que absorve e posteriormente utiliza certa parte da energia de um fluido de exaustão, seja água, ar ou fumos fruto de uma combustão, antes de ser expelido para o exterior.

Figura 5.7: Recuperador de um sistema AVAC

5.1.8 Evaporador

O evaporador permite que o fluido receba calor do meio a arrefecer e se evapore. Podem ser de dois diferentes tipos: seco e inundado, onde todo o líquido que entra no equipamento sai como

vapor e onde se mantém sempre uma certa quantidade (controlada) de líquido, respetivamente.

5.1.9 Depósito de Acumulação

Designa-se por depósito de acumulação (figura 5.8), um reservatório onde se encontra uma grande quantidade de fluido, que por sua vez acumula frio ou calor. Caso o seu intuito seja congelar a sua água, dá-se o nome de tanque de gelo.

Figura 5.8: Depósito de acumulação

5.1.10 Caldeira

É um equipamento que utiliza a queima de um combustível para gerar calor para aquecimento de água ou produção de vapor (que posteriormente atravessa o equipamento). Pode ser do tipo convencional ou de condensação, sendo que o segundo tipo apresenta uma eficiência bem mais considerável. O queimador utilizado pode ainda ser regulável, afetando, dessa forma, a queima do combustível e a sua eficiência.

5.1.11 Unidade de Produção de Água Refrigerada

Uma unidade de produção de água refrigerada (UPAR), representada na figura 5.9, é um sistema frigorífico, também denominado de Chiller, onde a água é arrefecida para posteriormente ser utilizada como fluido refrigerador (princípio semelhante ao de um frigorífico). Distinguem-se em equipamentos de compressão de vapor (constituído compressor, condensador, evaporador, separador de óleo e um mecanismo de expansão) ou de absorção (possui absorvedor, condensador, evaporador, bomba, gerador e mecanismo de expansão), mediante o princípio em que funcionam.

Podem ser ainda associados a sistemas de cogeração, destacando, neste caso, os sistemas de absorção.

Figura 5.9: Unidade de Produção de Água Refrigerada

5.1.12 Unidade de Tratamento de Ar

As unidades de tratamento de ar (UTA) são equipamentos de produção de ar-condicionado que alimentam um edifício através de condutas de ventilação. São constituídas por um ou mais ventiladores, uma bateria de arrefecimento e outra de aquecimento, filtros de ar, um humidificador, um recuperador de calor e uma caixa de mistura.

Os ventiladores existentes operam a velocidades fixas ou variáveis, de forma a permitir uma grande diversidade de caudais de ar. Os filtros, por sua vez, são instalados junto às entradas de ar das UTAs (figura 5.10), para que o ar fornecido seja limpo. As suas baterias de arrefecimento e aquecimento são permutadores de calor utilizados para arrefecer e aquecer o caudal circulante, respetivamente. No primeiro caso, mediante a temperatura do permutador e do ar envolvente, pode ocorrer condensação de vapor de água do ar, servindo, em certos casos, como desumidificador. O humidificador aumenta a humidade do ar através da injeção de água líquida ou gasosa. A caixa de mistura tem como objetivo a congregação de dois caudais do ar, misturando o ar absorvido com o que está em circulação.

5.1.13 Válvulas

As válvulas (figura 5.11) são responsáveis pelo controlo da circulação de um fluido nas tubagens. Atualmente, ao invés das válvulas tradicionais ou solenóides (o seu funcionamento deve-se ao efeito eletromagnético), podem ser adotadas válvulas eletrónicas (com motor elétrico) que apresentam maior eficiência.

Figura 5.10: Unidade de Tratamento de Ar

Figura 5.11: Exemplo de válvula utilizada

5.1.14 Equipamentos de Controlo e Gestão

Conjunto de equipamentos com funções de controlo que reagem a alterações de propriedades dos fluidos em causa. Utiliza-se com o intuito de monitorizar os consumos, acompanhar as evolução de propriedades dos fluido e detetar avarias. Mediante os resultados do sensor de medida,

atendendo ao tipo de equipamento existente, é executada uma resposta. Enumeram-se os seguintes equipamentos de controlo:

i) **Termostato** – controlo de humidade;

ii) **Higrostato** – controlo de temperatura;

iii) **Pressostato** – controlo de pressão.

5.2 Caracterização e Classificação de Sistemas AVAC

Os sistemas AVAC podem ser classificados em diversos tipos de acordo com os seus equipamentos constituintes e a sua forma de funcionamento, atendendo ao seu objetivo de aplicação.

5.2.1 Sistemas Unitários

Este tipo de sistemas caracteriza-se por apresentarem o condensador e evaporador na mesma base, apresentando um aparelho comum para produção de calor e frio. Uma vez que alimentam apenas um único local, têm vindo a tornar-se obsoletos.

5.2.2 Sistemas Divididos

Contrariamente aos sistemas unitários, os sistemas divididos (denominados também de sistema split) têm os seus condensadores e evaporadores instalados em locais distintos.

5.2.3 Sistemas de Zona

A sua designação surge de forma a distinguir dos sistemas de aquecimento ou arrefecimento gerais, sendo estes apenas responsáveis pela climatização de zonas específicas do edifício onde estão instalados.

5.2.4 Sistemas Centralizados

Os sistemas centralizados, ao contrário dos referidos anteriores, efetuam a climatização de toda a área que se pretende climatizar. Podem ser divididos em 3 subsistemas: Tudo-Ar, Tudo-Água e Ar-Água.

5.2.4.1 Sistemas Tudo-Ar

Nos sistemas Tudo-Ar, o ar é o meio de transporte de calor até ao local onde se pretende efetuar a climatização. Utiliza-se, maioritariamente, em locais onde é necessário que a qualidade do ar seja controlada. Podem ser de dois tipos:

i) **VAC** (volume de ar constante), onde apenas é variável a temperatura da insuflação do ar, mantendo-se o seu caudal constante;

ii) **VAV** (volume de ar variável), onde o caudal é variável e a temperatura permanece constante.

Devido às grandes despesas energéticas associadas à sua utilização, este tipo de equipamentos já não são utilizados de forma frequente.

5.2.4.2 Sistemas Tudo-Água

Este sistema utiliza a água como principal motor da climatização, através da qual o calor se desloca. É muito vantajoso devido à sua adaptabilidade a qualquer edifício, ainda que exija o controlo da humidade através de equipamentos próprios. As alterações de temperatura devem-se à passagem da água através de uma bateria, sendo que a sua origem vem de um equipamento de aquecimento ou arrefecimento, caldeira ou chiller, respetivamente. Podem ser de dois tubos ou de quatro tubos, em que o primeiro apenas permite aquecimento ou arrefecimento de todas as zonas a climatizar, mas o segundo oferece a opção de escolha por zona.

5.2.4.3 Sistemas Ar-Água

Os sistemas Ar-Água correspondem a uma opção híbrida dos dois tipos mencionados anteriormente. Utilizam a água como intermediária para transportar calor até ao destino. Por sua vez, o ar é responsável pela climatização nos espaços em si. Ou seja, a climatização dos espaços é feita por um equipamento local que aquece ou arrefece o ar mediante a temperatura da água, previamente aquecida ou arrefecida. Estes equipamentos permitem o controlo da humidade e da qualidade do ar.

Capítulo 6

Tarifários

O Sistema tarifário, bem como os métodos de cálculos associados, estão bem definidos no Regulamento Tarifário. O seu objetivo principal incide na promoção da eficácia na afetação de recursos e da equidade de tarifas, de forma a garantir a qualidade do fornecimento de energia, o equilíbrio financeiro e económico das empresas reguladas, mantendo a estabilidade da evolução das tarifas nacionais.

As tarifas estabelecidas são publicadas todos os anos, regra geral em dezembro do ano anterior ao qual dizem respeito os novos valores. Por outro lado, os intervalos de regulação são de três anos (iniciou-se o último período de regulação em 2018) [54].

6.1 Evolução do Sistema Tarifário no Setor Elétrico

A total liberalização do mercado elétrico tem como principal objetivo promover a concorrência e conceder liberdade de escolha total ao utilizador, no que toca à escolha do seu comercializador, o que aumenta a flexibilidade de preços e a satisfação dos clientes.

A liberalização do mercado elétrico Português teve início em 1995 e desenvolveu-se de forma gradual e progressiva até 2006 (ano a partir do qual todos os consumidores de energia podem escolher o seu fornecedor), processo que se iniciou com os clientes com maiores níveis de tensão e consumos mais elevados [55].

Atualmente, as atividades reguladas são as seguintes:

- Gestão global do sistema;
- Transporte de energia elétrica;
- Distribuição de energia elétrica;
- Operação logística de mudança de comercializador;

- Comercialização de energia elétrica;
- Compra e venda de energia elétrica.

6.2 Tarifários em Portugal

O preço de eletricidade a pagar pelo consumidor final apresenta três parcelas: redes, energia e impostos sobre fornecimento. A primeira parcela corresponde ao valor associado às infraestruturas desde a produção até ao consumidor final, a segunda parcela diz respeito ao custo da energia consumida e o terceiro refere-se às tributações relativas aos impostos definidos.

Os clientes do mercado liberalizado pagam tarifas relativas à parcela das redes - Tarifa de Acesso às Redes. A parcela da energia é negociada diretamente com o comercializador do mercado livre. Por último, a parcela relativa aos impostos é definida pelo Estado.

Ao invés, o consumidor do mercado regulado paga as mesmas tarifas que o cliente do mercado liberalizado, mas está também sujeito a uma tarifa de energia regulada, parcela que engloba a Tarifa de Energia e a Tarifa de Comercialização.

Os clientes de energia elétrica podem ser divididos em cinco grupos:

i) Baixa Tensão Normal (BTn): tensão eficaz entre fases inferior ou igual a 1 kV e potência contratada inferior ou igual a 41,4 kW;
ii) Baixa Tensão Especial (BTe): tensão eficaz entre fases inferior ou igual a 1 kV e potência contratada superior a 41,4 kW;
iii) Média Tensão (MT): tensão eficaz entre fases superior a 1 kV e inferior a 45 kV;
iv) Alta Tensão (AT): tensão eficaz entre fases superior a 45 kV e inferior a 110 kV;
v) Muito Alta Tensão (MAT): tensão eficaz entre fases superior a 110 kV.

6.2.1 Componentes de Tarifas

As tarifas de energia pagas pelos consumidores finais em Portugal, englobam três componentes distintas [56]:

- Tarifa de Energia (TE): corresponde à utilização efetiva de energia do sistema, reflete os custos de aquisição para aprovisionamento dos clientes (figura 6.1);

- Tarifa de Comercialização (TC): diz respeito aos serviços de contratação, faturação e cobrança (figura 6.2). É composta pelos seguintes preços:
i) Termo tarifário fixo (/mês);

ENERGIA			PREÇOS
Energia ativa			(EUR/kWh)
	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,0768
		Horas cheias	0,0718
		Horas de vazio normal	0,0578
		Horas de super vazio	0,0511
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,0711
		Horas cheias	0,0670
		Horas de vazio normal	0,0552
		Horas de super vazio	0,0537

Figura 6.1: Tarifa de Energia em 2020

ii) Preço da Energia Ativa (/kWh).

COMERCIALIZAÇÃO EM AT E MT	PREÇOS	
Termo tarifário fixo	(EUR/mês)	(EUR/dia) *
	4,3	0,1409
Energia ativa	(EUR/kWh)	
	0,0006	

Figura 6.2: Tarifa de Comercialização para AT e MT em 2020

• Tarifa de Acesso às Redes (TA) (figura 6.3):

i) Tarifa de Operação Logística de Mudança de Comercializador (OLMC) – paga os custos da atividade de mudança de comercializador;

ii) Tarifa de Uso Global do Sistema (UGS) – paga os serviços de sistema e de interesse económico geral (congrega custos de gestão e custos decorrentes de medidas de política energética e ambiental);

iii) Tarifa de Uso da Rede de Distribuição (URD) – paga o uso da rede (aplicado pelo operador da rede de distribuição);

iv) Tarifa de Uso da Rede de Transporte (URT) – paga a utilização da rede de transporte (aplicado pelo operador da rede de transporte).

6.2.2 Períodos dos tarifários

Os tarifários em Portugal podem ser divididos em quatro períodos horários:

i) Vazio: horas de consumo reduzido que conduzem a uma tarifa reduzida;

ii) Super Vazio: horas de consumo elétrico ainda mais reduzido que as horas de Vazio, sendo por isso a sua tarifa ainda mais reduzida;

iii) Cheia: horas em que o consumo é razoável, tendo uma tarifa intermédia (mais baixa que Ponta e mais alta que Vazio);

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM MT			PREÇOS	
Potência			(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia)*
		Horas de ponta	5,236	0,1717
		Contratada	0,937	0,0307
Energia ativa			(EUR/kWh)	
	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,0567	
		Horas cheias	0,0407	
		Horas de vazio normal	0,0146	
		Horas de super vazio	0,0140	
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,0564	
		Horas cheias	0,0404	
		Horas de vazio normal	0,0145	
		Horas de super vazio	0,0141	
Energia reativa			(EUR/kVArh)	
		Indutiva	0,0252	
		Capacitiva	0,0189	

Figura 6.3: Tarifa de acesso às redes MT para 2020

iv) Ponta: horas onde o consumo é mais elevado, onde existem os maiores custos associados, apresentando por essa razão a tarifa mais elevada.

Por sua vez, podem classificar-se de acordo com o seu período trimestral:

i) 1º Período: de 1 de janeiro a 31 de março;

ii) 2º Período: de 1 de abril a 30 de junho;

iii) 3º Período: de 1 de julho a 30 de setembro;

iv) 4º Período: de 1 de outubro a 31 de dezembro.

Como pode ser visto na discriminação acima referida, o 1º e 4º períodos correspondem ao Inverno, tal como o 2º e 3º períodos correspondem ao Verão.

6.2.3 Ciclos Horários

Relativamente aos ciclos horários aplicados aos consumidores de energia elétrica MT, de acordo com o Regulamento Tarifário previsto pela ERSE, podem ser destacados três ciclos diferente: Ciclo Semanal, Ciclo Semana Opcional e Ciclo Diário [57].

6.2.3.1 Ciclo Semanal

Nos ciclos semanais há três períodos, os dias úteis são distinguidos dos sábados e dos domingos. O período horário é também diferente mediante o dia de semana e o período trimestral. Para além disso, há também distinção entre o Verão e o Inverno, como se pode verificar na figura 6.4. De fazer referência que em ciclo semanal, os feriados são considerados períodos de vazio nas opções tetra-horárias (ciclo semanal com feriados).

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 6.4: Ciclo Semanal em Portugal continental

6.2.3.2 Ciclo Semanal Opcional

O ciclo semanal opcional funciona na mesma base que o ciclo semanal, ainda que com certas alterações a nível horário, como pode ser consultado na figura 6.5.

Ciclo semanal opcional para MAT, AT e MT em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	17.00/22.00 h	Ponta:	14.00/17.00 h
Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/17.00 h 22.00/24.00 h	Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/14.00 h 17.00/24.00 h
Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h	Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	10.30/12.30 h 17.30/22.30 h	Cheias:	10.00/13.30 h 19.30/23.00 h
Vazio normal:	00.00/03.00 h 07.00/10.30 h 12.30/17.30 h 22.30/24.00 h	Vazio normal:	00.00/03.30 h 07.30/10.00 h 13.30/19.30 h 23.00/24.00 h
Super vazio:	03.00/07.00 h	Super vazio:	03.30/07.30 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h
Super vazio:	04.00/08.00 h	Super vazio:	04.00/08.00 h

Figura 6.5: Ciclo Semanal Opcional em Portugal continental

6.2.3.3 Ciclo Diário

Relativamente aos ciclos diários (apenas para consumidores BTE e BTN), não existe diferenciação horária dos dias úteis para os fins de semana, apenas apresentam distinção de hora legal (Verão e Inverno). Devem respeitar um número de horas definido para cada período por dia, sendo um ciclo mais vantajoso para instituições que funcionem cinco dias numa semana (tome-se o exemplo de locais que encerrem aos fins de semana). O ciclo diário está representado na figura 6.6.

Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h
	18.00/20.30 h		19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h
	10.30/18.00 h		13.00/19.30 h
	20.30/22.00 h		21.00/22.00 h
Vazio normal:	06.00/08.00 h	Vazio normal:	06.00/08.00 h
	22.00/02.00 h		22.00/02.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 6.6: Ciclo Diário em Portugal continental

6.3 Tarifa Transitória de Venda a Clientes Finais

De acordo com a ERSE, as tarifas publicadas em dezembro de 2019 correspondentes ao ano 2020, podem ser verificadas na figura 6.7.

Desde dia 1 de janeiro de 2013 que as tarifas de venda a clientes finais passaram a ser transitórias. Considerando-se os valores presentes, válidos até dia 31 de dezembro até 2020 no abrigo da Portaria nº 364-A/2017, de 3 de dezembro, de 2017.

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT			PREÇOS	
Termo tarifário fixo			(EUR/mês)	(EUR/dia) *
			44,80	1,4688
Potência			(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia) *
Tarifa de longas utilizações		Horas de ponta	9,920	0,3252
		Contratada	1,522	0,0499
Tarifa de médias utilizações		Horas de ponta	9,994	0,3277
		Contratada	1,437	0,0471
Tarifa de curtas utilizações		Horas de ponta	14,492	0,4752
		Contratada	0,654	0,0214
Energia ativa			(EUR/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1390	
		Horas cheias	0,1115	
		Horas de vazio normal	0,0773	
		Horas de super vazio	0,0674	
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1400	
		Horas cheias	0,1119	
		Horas de vazio normal	0,0786	
		Horas de super vazio	0,0725	
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1434	
		Horas cheias	0,1150	
		Horas de vazio normal	0,0779	
		Horas de super vazio	0,0676	
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1484	
		Horas cheias	0,1127	
		Horas de vazio normal	0,0809	
		Horas de super vazio	0,0725	
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2100	
		Horas cheias	0,1198	
		Horas de vazio normal	0,0812	
		Horas de super vazio	0,0724	
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,2092	
		Horas cheias	0,1194	
		Horas de vazio normal	0,0815	
		Horas de super vazio	0,0760	
Energia reativa			(EUR/kvarh)	
		Indutiva	0,0252	
		Capacitiva	0,0189	

Figura 6.7: Tarifas transitórias de venda a clientes finais em MT em 2020

Capítulo 7

Caso de Estudo

No presente capítulo inicia-se o estudo e avaliação da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, que será caracterizada e avaliada. Ao longo dos diversos tópicos serão apresentados levantamentos e tabelas dos equipamentos existentes, bem como o reflexo do seu funcionamento nos consumos finais.

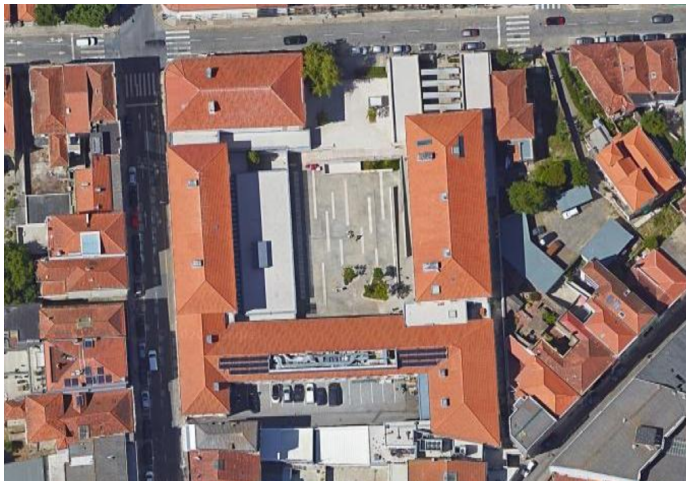


Figura 7.1: Vista aérea da Escola de Turismo e Hotelaria do Porto

Ainda que exista um restaurante e um pequeno hotel associados ao edifício em causa, o estudo realizado focou-se na escola, nos espaços e no funcionamento relativo ao ensino hoteleiro. O horário da escola, geralmente, inicia-se de manhã e termina pelo fim da tarde, com exceção de certas formações ou eventos noturnos (uma vez que as instalações fazem parte do Turismo de Portugal).

Dessa forma, as visitas para recolha de dados foram realizadas fora dos horários letivos, períodos onde haveria mais facilidade no processo.

O edifício foi reabilitado em 2008 (tendo sido aberto ao público em 2010), o que justifica a pouca necessidade de investimento, visto que todos os equipamentos são modernos e a sua gestão é

feita de forma correta. Ainda assim, serão apresentadas algumas propostas que visam as melhorias energéticas e da qualidade do sistema elétrico da EHTP.

7.1 Descrição e Caracterização do Local

Como previamente descrito no capítulo 1 (subcapítulo 1.3), a Escola de Hotelaria e Turismo do Porto está localizada na freguesia do Bonfim, no centro da cidade do Porto, mais especificamente, na Rua da Firmeza, nº 71, como pode ser visto na figura 7.2.

Figura 7.2: Localização da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto

A Escola de Hotelaria e Turismo do Porto está instalada na antiga Escola Artística de Soares dos Reis, recuperada no âmbito de uma parceria entre a Parque Escolar e o Turismo de Portugal.

Figura 7.3: Vista exterior da EHTP

O edifício dispõe de 11 salas de aula, uma sala de enologia e um bar, uma biblioteca e uma mediateca, uma sala de informática, uma cafetaria self-service, um restaurante de aplicação, um auditório multiusos (com 212 lugares), um anfiteatro de cozinha, 16 cozinhas individuais, bem como um hotel-escola com 17 quartos. Todas as divisões e respetivas áreas dos cinco pisos estão representadas nas tabelas em anexo.

7.2 Análise Tarifária da Fatura Energética

De forma a comprovar se o comercializador de energia e a opção tarifária da escola são os ideais, é necessário analisar as faturas energéticas disponibilizadas, estudá-las e compará-las com as alternativas que o mercado oferece. Para além disso, são analisados os consumos relativos às faturas disponibilizadas.

Inicialmente uma das hipóteses a utilizar para comparação tarifária seria o simulador *online* disponibilizado pela ERSE, no entanto, o simulador em MT já não se encontra disponível, existindo apenas o simulador para BT limitado a 41,3 kVA.

A EHTP apresenta uma tarifa de Média Tensão, com contrato de Ciclo Semanal com Feriados comercializado pela Galp Power. A escola tem uma potência contratada de 303,10 kVA, uma potência instalada de 630 kVA e uma potência requisitada de 303,10 kVA. Destaca-se que o consumo anual é inferior ou igual a 3000 MWh/ano.

Este tipo de contrato é faturado multiplicando o consumo do cliente pelo preço do kWh atendendo ao período horário e sazonal em causa. Existem quatro períodos horários – horas de ponta, horas de cheias, horas de vazio e horas de super-vazio e quatro períodos sazonais – I, II, III e IV. O tarifário em vigor, aplicado pela Galp Energia, pode ser consultado na tabela 7.1.

Tabela 7.1: Tarifário aplicado pela Galp Energia atualmente em vigor na EHTP

Tarifa	**Custo [euros/kWh]**
ISP	0,001
Energia Ativa Vazio	0,0565
Energia Ativa Ponta	0,0702
Energia Ativa Cheias	0,0652
Energia Ativa S. Vazio	0,0478
T. A. Pot. Contratada	0,0349
T. A. Horas de Ponta	0,2147
T. A. Ponta - I, IV	0,0490
T. A. Ponta - II, III	0,0487
T. A. Cheias - I, IV	0,0413
T. A. Cheias - II, III	0,0410
T. A. Vazio - I, IV	0,0221
T. A. Vazio - II, III	0,0220
T. A. S. Vazio - I, IV	0,0214
T. A. S. Vazio - II, III	0,0215

Atendendo aos valores faturados nos 12 meses, entre janeiro de 2019 e dezembro de 2019, observa-se que o consumo é elevado e relativamente constante, apresentando uma subida nos meses mais quentes de período letivo (maio, junho, julho e setembro), como seria de esperar, bem como uma pequena redução nos meses de férias (agosto, janeiro e fevereiro). O mês de março

apresenta os menores consumos do ano, que podem ser justificados pelos períodos de avaliação, onde haverá menos utilização das divisões que apresentam maior consumo, como as cozinhas.

Tabela 7.2: Consumo anual de energia ativa e preços associados

	Energia Ativa				
Mês	**Horas de Ponta [kWh]**	**Horas de Cheias [kWh]**	**Horas de Vazio Normal [kWh]**	**Horas de Super-Vazio [kWh]**	**Valor da Fatura [euros]**
jan/19	11703	28666	16892	7512	8 827,86
fev/19	13603	32844	14311	7602	9 376,55
mar/19	10986	26730	13039	6662	8 203,63
abr/19	8068	30153	17095	7693	9 333,76
mai/19	8540	33905	17354	7947	10 050,85
jun/19	9821	37337	17915	8317	11 036,16
jul/19	8012	35333	17295	9064	10 197,46
ago/19	7056	31448	18611	8945	9 558,83
set/19	7749	37658	19212	10161	10 710,31
out/19	6604	34740	17987	8349	10 347,45
nov/19	13282	31083	14110	7138	9 987,50
dez/19	12937	30430	16655	7660	9 604,95
Total	**118361**	**390327**	**200476**	**97050**	**117 235,31**

Como pode ser verificado através da figura 7.4, o consumo maioritário é nas horas de cheias, que correspondem às horas de funcionamento e maior afluência da escola, seguindo-se os períodos de vazio normal.

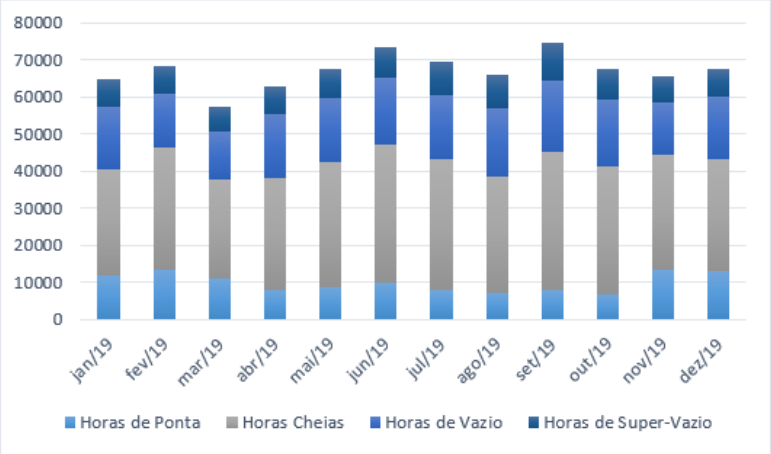


Figura 7.4: Consumo de Energia Ativa anual por horário

Para verificar se a tarifa em utilização da EHTP é a mais favorável a nível financeiro, foi realizado um estudo dos preços das concorrentes da Galp Power no mercado. Os comercializadores estudados foram: a Iberdrola, a Simples, a HEN, a SU Eletricidade (antiga EDP Universal) e a Naturgy.

Como pode ser concluído através da consulta da tabela 7.3, o tarifário atual é o que mais compensa a nível financeiro. Ainda assim, atendendo ao pequeno desvio do tarifário apresentado pela Iberdrola, poderia ser interessante pensar em negociar os preços tanto com a Galp Energia, como com a Iberdrola, de forma a tentar reduzir o máximo a fatura energética.

Tabela 7.3: Comparação de preço final entre tarifários disponíveis

	Galp (semanal c/ feriados)	Simples - Futuro Verde (semanal)	Simples - Futuro Verde (semanal c/ feriados)	Naturgy (semanal)	Su Eletricidade (longas utilizações)	Iberdrola (semanal c/ feriados)	Hen (semanal)
Preço Final Anual [euros]	117 235,31	122 736,49	122 384,15	134 864,79	130 375,87	118 411,72	142 728,02
Diferença para atual [euros]	0,00	5 501,19	5 148,84	17 629,48	13 140,56	1 176,41	25 492,71
Desvio Percentual	0,00%	4,69%	4,39%	15,04%	11,01%	1,00%	21,74%

7.3 Qualidade da Energia

Para se proceder ao estudo da qualidade da energia na Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, foi instalado um analisador de redes (Fluke 432) no QGBT e no Quadro Geral AVAC. Os dados extraídos pelo analisador correspondem a um grande intervalo de tempo, que permitiu analisar as diferenças de comportamento durante dias úteis, sábados e domingos. O analisador do QGBT esteve instalado entre o dia 04/11/2019 e o dia 21/11/2019. O analisador presente no Quadro Geral AVAC teve o seu período de recolha de dados entre 14/01/2020 e 21/01/2020.

Figura 7.5: Analisador de rede utilizado - Fluke 435

Com os dados recolhidos, foi possível fazer a análise das seguintes características:

i) Tensão nas fases;
ii) Corrente nas fases e no neutro;
iii) Potência ativa (total e nas fases);
iv) Potência reativa indutiva e capacitiva (total e nas fases);
v) Fator potência indutivo e capacitivo (total e nas fases);
vi) Frequência do sistema;
vii) Harmónicos de tensão;
viii) Harmónicos de corrente;
ix) Taxa de distorção harmónica.

Pelo facto do analisador permanecer instalado e continuar a recolha de dados durante 24 horas (em intervalos de 12 minutos), torna-se simples perceber a evolução diária de funcionamento da escola, tal como a diferença entre os dias úteis e o fim de semana.

O analisador foi ligado à rede (sistema trifásico com neutro) de acordo com as indicações disponibilizadas no seu manual de utilização, tal como se encontra representado na figura 7.6 e demonstrado na figura 7.7. Posteriormente, os dados recolhidos, que englobam uma série de parâmetros (atendendo ao facto do analisador Fluke 435 ser um equipamento moderno, foram recolhidos bastantes dados não utilizados neste estudo), foram exportados através do *software* Fluke Powerlog, disponibilizado pela empresa. Este *software* transformou os dados em ficheiro de texto, que por sua vez, foram adaptados para ser possível uma análise em Excel.

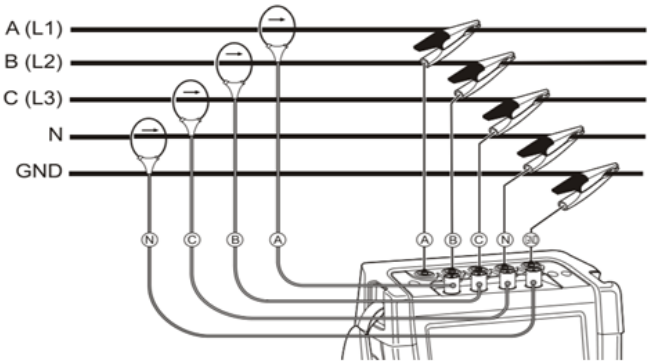


Figura 7.6: Exemplo de esquema de montagem do analisador

Figura 7.7: Analisador instalado no QGBT da EHTP

7.3.1 Tensão nas Fases

Para se proceder à análise das tensões nas fases, foram filtrados os valores e foram desenhados gráficos de evolução no ficheiro Excel, para que pudesse ser verificada a conformidade com as restrições da norma EN 50160. A norma restringe os valores eficazes médios da tensão entre 90% e 110% da Un. Visto que a tensão é de 230 V, os valores deverão estar compreendidos entre 207 V e 253 V.

Como se pode verificar a partir da figura 7.8, os valores de tensão para o QGBT, não ultrapassam em qualquer uma das fases os limites traçados pela norma. Sendo 231,02 V e 241,22 V, os valores máximo e mínimo medidos, respetivamente.

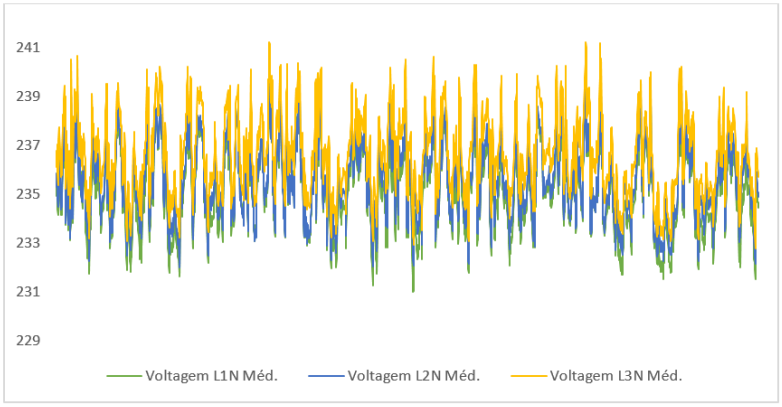


Figura 7.8: Evolução da tensão nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Figura 7.9: Evolução da tensão nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

Podemos novamente concluir, analisando a figura 7.9, que as tensões nas três fases do quadro geral AVAC se encontram dentro dos limites referidos, sendo a mais baixa de 227,16 V (na fase

L1) e a mais alta de 240,9 V (na fase L3).

7.3.2 Equilíbrio de Tensão e Corrente

Partindo novamente da análise da figura 7.8, podemos concluir que a variação da tensão entre fases não é muito substancial, não ultrapassando sequer os 2,74 V. Desta forma, pode-se afirmar que o sistema tem as suas tensões equilibradas.

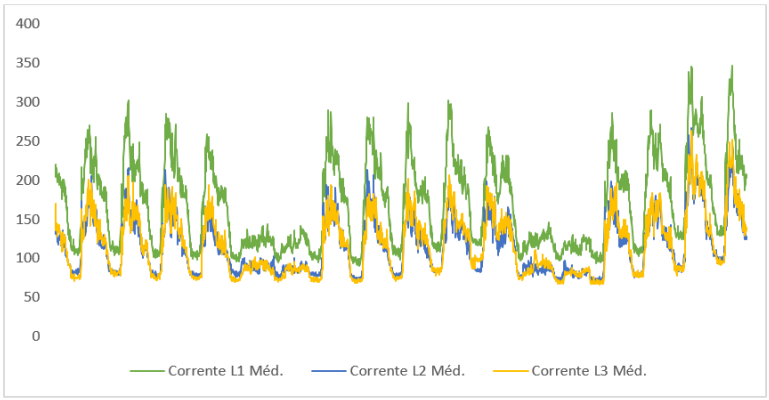


Figura 7.10: Evolução da corrente nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Ao invés, a corrente nas três fases do QGBT não está equilibrada, como pode ser verificado na figura acima. As fases L2 e L3 estão bastante equilibradas, no entanto, a fase L1 está mais carregada, apresentando correntes mais elevadas durante um elevado período de tempo. Após uma análise mais profunda, verificou-se que o período em que a intensidade da fase L1 se aproxima mais das restantes é durante o período noturno, no qual o funcionamento da escola é mais reduzido.

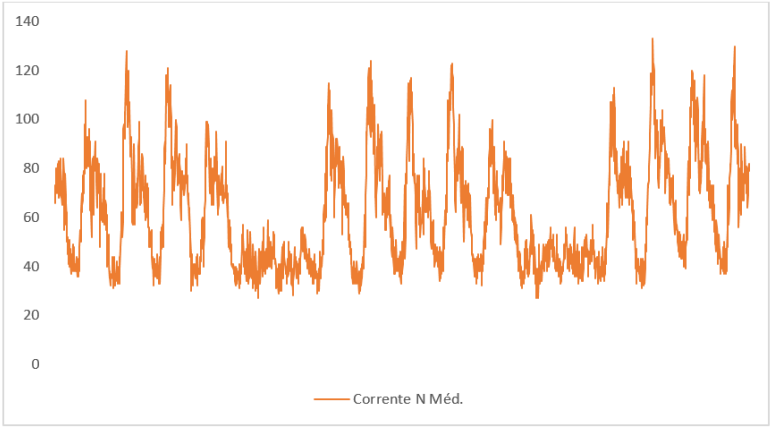


Figura 7.11: Evolução da corrente no neutro durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Como pode ser visto na figura 7.11, a corrente no neutro é muito elevada aquando das maiores diferenças de corrente entre fases, provocado pelo desequilíbrio de cargas nas fases.

Para que o problema seja solucionado, tem de ser analisado de uma forma mais complexa o projeto elétrico da EHTP, de forma a conseguir ser entendida a raíz deste desequilíbrio. Provavelmente, surgirá a necessidade de haver mobilidade de algumas cargas da fase L1 paras as fases L2 e L3, para que haja mais linearidade entre elas.

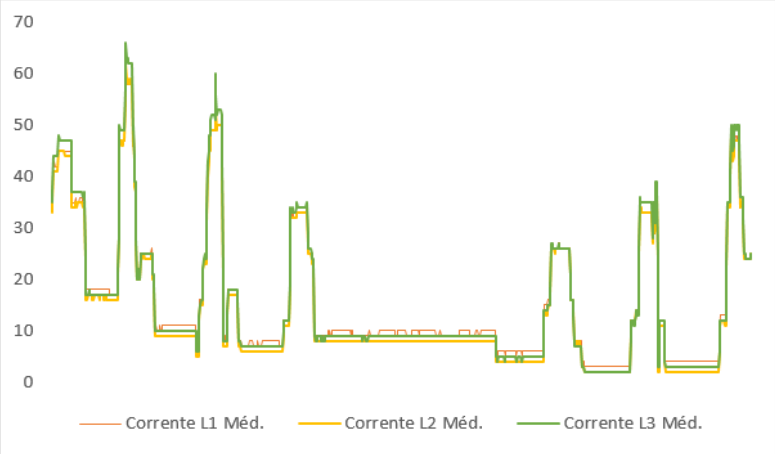


Figura 7.12: Evolução da corrente nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

Analisando a figura anterior 7.9, concluímos que as tensões se encontram equilibradas, visto que a maior diferença de tensão existente entre fases, por um período muito reduzido de tempo, é de 3,46 V.

No caso das correntes, já se verifica uma diferença de 5 A em alguns casos entre as fases. Atendendo ao facto da corrente máxima ser de 66 A, 5 A já apresenta uma percentagem de 7,6%, que pode ser considerada relevante. Ao invés do QGBT, a fase mais carregada é a L3, sendo que as fases L1 e L2 se encontram mais equilibradas. Isto deve-se, certamente, ao facto de existirem mais cargas AVAC associadas à fase L3 do que às restantes.

Assim, a solução passa por balançar os consumos dos equipamentos instalados e distribui-los da forma mais equalitária possível pelas três fases.

Em relação à corrente no neutro do quadro geral de AVAC, podemos concluir que varia entre 3 A e 4 A, mediante o funcionamento dos equipamentos instalados na escola, respondendo à variação de injeção de corrente.

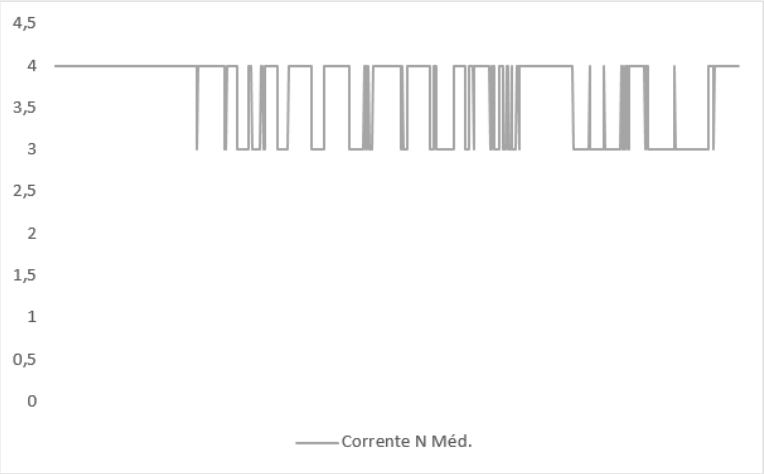


Figura 7.13: Evolução da corrente no neutro durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

7.3.3 Energia Reativa e Fator Potência

Nas figuras 7.14 e 7.15 apresenta-se a evolução do fator potência (FP) para todo o intervalo de medição. Como pode ser visto, o FP no QGBT atinge valores de 0,85 e no quadro de AVAC atinge valores de 0,22. Esta diminuição de FP pode levar a perdas na rede, quedas de tensão inesperadas e, eventualmente, levar a uma subutilização da capacidade instalada. Para além disso, como analisado anteriormente e demonstrado neste capítulo, leva a uma faturação de energia reativa.

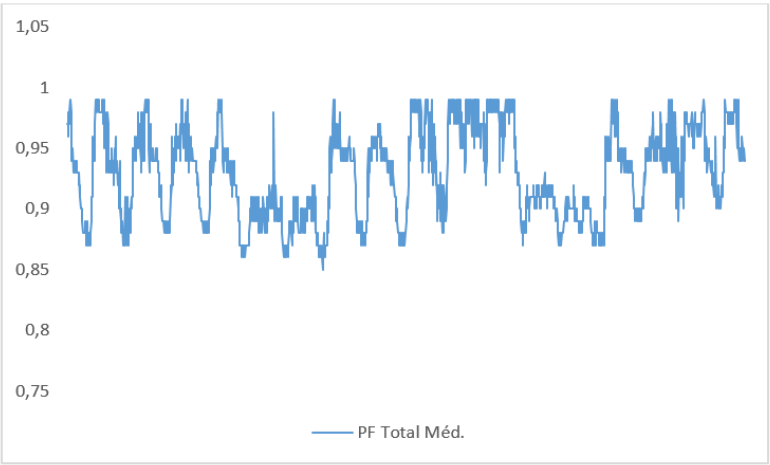


Figura 7.14: Evolução do fator potência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

As grandes variações de FP que podem ser observadas são provocadas pelo arranque dos aparelhos elétricos, bem como por serem desligados.

Após feito um estudo no Excel, concluiu-se que existem fatores potência com valores inferiores a 0,96 que levam a faturação extra.

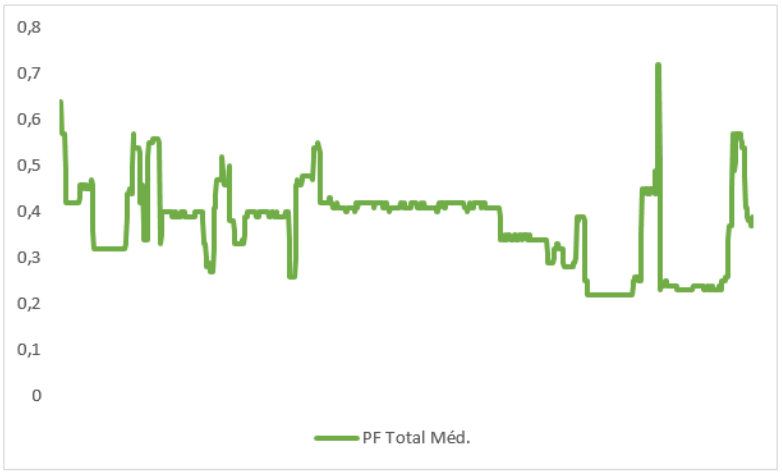


Figura 7.15: Evolução do fator potência durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

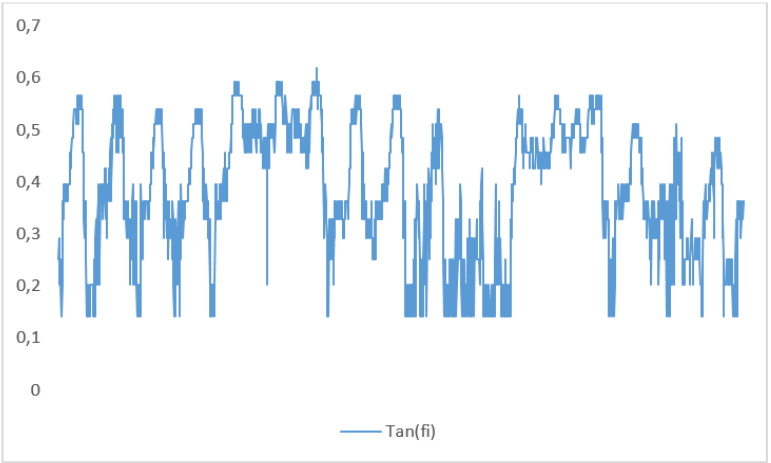


Figura 7.16: Evolução da tangente de phi durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Como foi previamente referido, a energia reativa é faturada quando a tan ϕ ultrapassa os 0,3. Analisando o gráfico, conclui-se que este limite é ultrapassado frequentemente.

De destacar que a EHTP dispõe de uma bateria de condensadores de 210 kvar de potência nominal, distribuída por cinco escalões (20, 40, 50, 50 e 50), representada na figura 7.18.

Pela análise ao consumo da energia reativa e pelas decisões elétricas tomadas no edifício (informação transmitida pelos técnicos responsáveis), a bateria de condensadores nunca funciona na sua totalidade, não havendo necessidade de injeção de 210 kvar na rede. Uma das possíveis soluções, seria a utilização de mais escalões de menor potência, de forma a haver maior refinamento da compensação, para que o FP fosse mais próximo de um e não houvesse faturação associada à

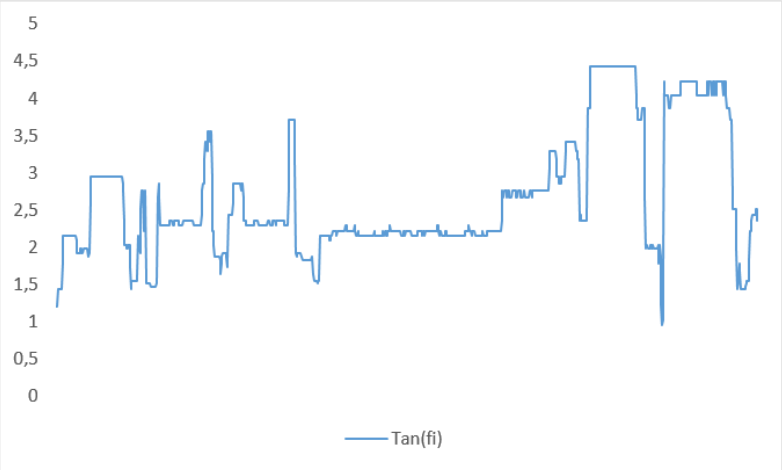


Figura 7.17: Evolução da tangente de phi durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

Figura 7.18: Bateria de Condensadores instalada na EHTP

reativa.

No entanto, através da análise das faturas elétricas disponibilizadas, foi possível verificar que na maioria dos meses não há nenhum valor associado a este tipo de faturação, não atingindo na sua totalidade (anual), a casa das centenas. Assim sendo, podemos concluir que os desvios de reativa são bastante curtos, e por essa razão não são taxados, o que indica a dispensabilidade de qualquer tipo de investimento nesta área.

7.3.4 Frequência

Numa situação ideal, a frequência seria igual a 50 Hz, ainda que na prática o valor seja variável. De acordo com a norma EN 50160, os valores deverão estar compreendidos entre 94% e 104% do valor base durante 100% do tempo, ou seja, entre 47 Hz e 52 Hz.

Como pode ser visto na figura 7.19, os valores nunca são inferiores a 49,9 Hz e superiores a 50,1 Hz, pelo que podemos concluir que neste caso as condições são respeitadas.

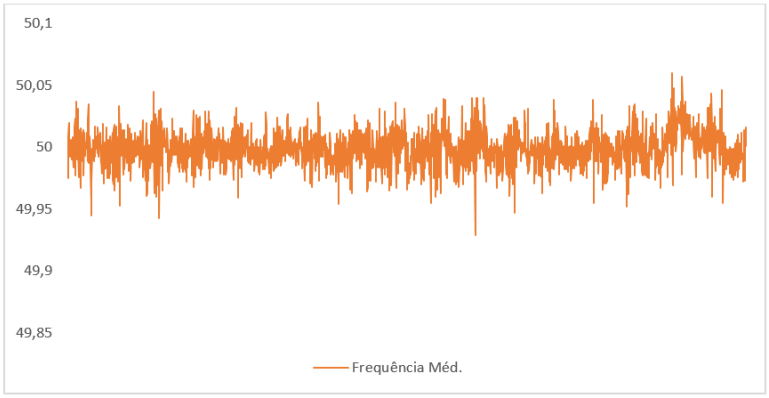


Figura 7.19: Evolução da frequência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

À semelhança do QGBT, o quadro geral AVAC apresenta também uma frequência dentro dos limites sugeridos, como pode ser visto na figura 7.20.

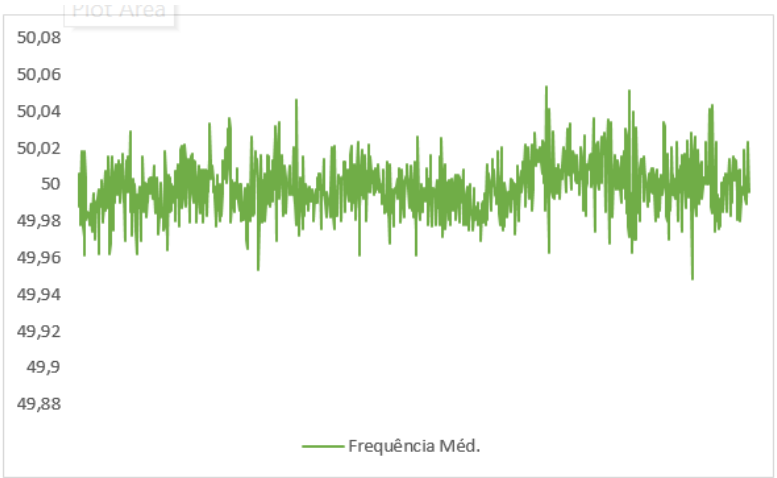


Figura 7.20: Evolução da frequência durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

7.3.5 Poluição Harmónica

Como destacado previamente, a poluição harmónica é provocada pelos equipamentos ligados à rede. A existência deste tipo de poluição deforma as ondas de corrente e tensão, diminuindo a

sua qualidade e degradando o sistema elétrico em causa.

Na análise desta componente, é avaliado o conteúdo harmónico da rede da EHTP, face às normas em vigor.

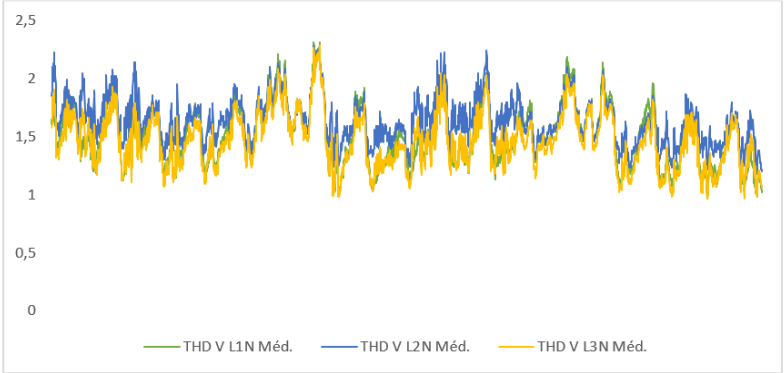


Figura 7.21: Evolução da THDu nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Como pode ser visto a THDu no QGBT não ultrapassa os 2,5% durante todo o intervalo de medição, o que respeita a norma EN 50160 que limita o seu valor em mais 8% do valor base, em 95% dos intervalos de 10 minutos, como foi previamente descrito no capítulo 3.

No que toca aos harmónicos, foram analisados o 3º, 5º e 7º nas três fases distintas. Tal como para os restantes parâmetros, foram sobrepostos os gráficos dos harmónicos para a mesma fase, como pode ser observado nas figuras 7.22, 7.23 e 7.24.

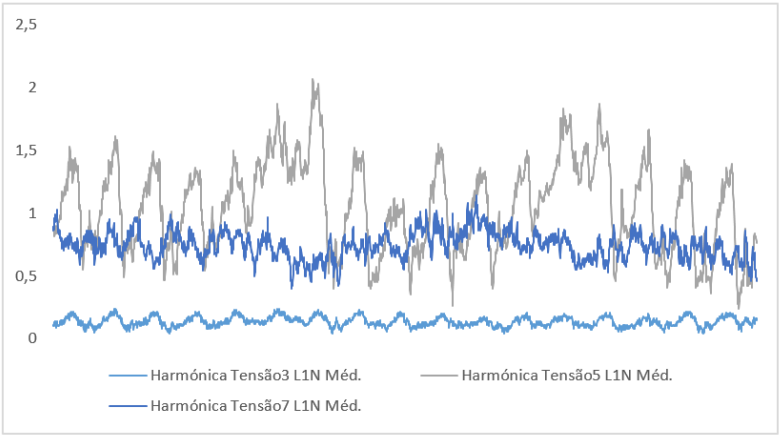


Figura 7.22: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Na norma EN 50160 são estabelecidas as percentagens máximas respeitantes a cada ordem de harmónico, como representado na tabela 7.4.

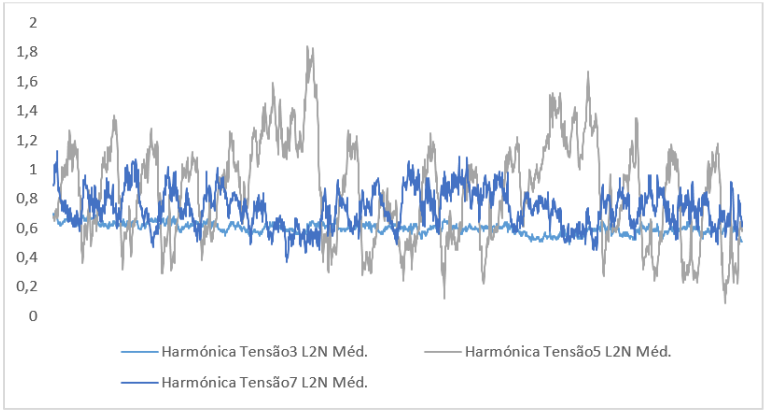


Figura 7.23: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

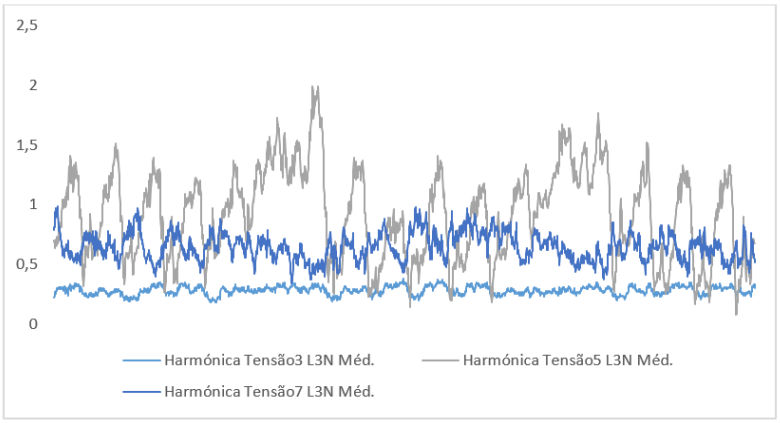


Figura 7.24: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Tabela 7.4: Percentagem máxima em relação à tensão fundamental nos harmónicos estudados

Harmónico	**Percentagem máxima em relação à tensão fundamental**
Ordem 3	5%
Ordem 5	6%
Ordem 7	5%

Podemos concluir que os harmónicos em todas as fases do QGBT respeitam os valores máximos em relação à tensão fundamental.

Para o quadro geral AVAC podemos fazer a mesma análise que foi feita para o QGBT.

A THDu do quadro geral AVAC não ultrapassa os 2%, o que permite concluir que se encontra dentro dos limites previstos. Os harmónicos de tensão, no seguimento da análise feita no QGBT, também não ultrapassam os valores percentuais representados na tabela 7.4.

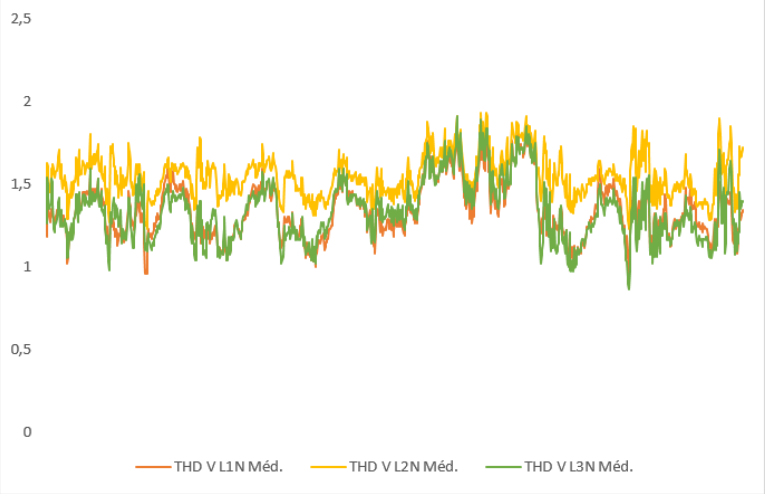


Figura 7.25: Evolução da THDu nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

Por sua vez, os harmónicos de tensão do quadro geral AVAC, como podemos ver nas figuras 7.26, 7.27 e 7.28, não ultrapassam os 1,6%, respeitando, também, os limites definidos na tabela.

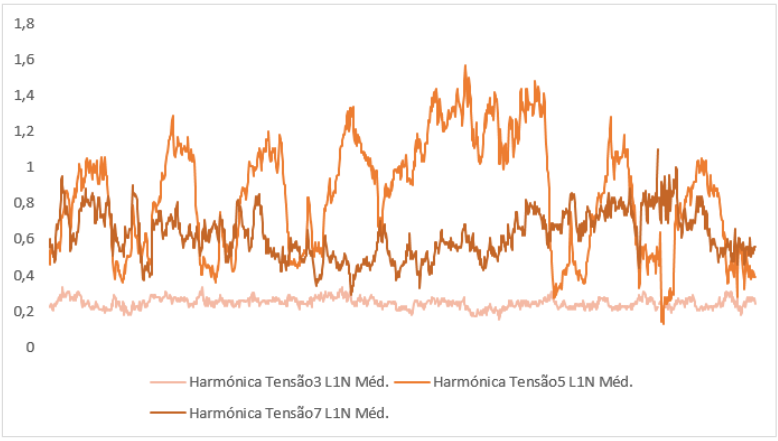


Figura 7.26: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC

A análise da THDi é feita de outra forma. Para se determinar os seus limites e dos harmónicos de corrente, recorreu-se ao cálculo da corrente de curto-circuito e de acesso à rede.

Como a escola dispõe de PT próprio (de 630 kVA), apenas foi necessário consultar a documentação respetiva para se determinar os valores necessários.

Para se verificar o cumprimento dos valores de acordo com as normas, representados na tabela 7.5, foi feita uma análise semelhante à THDu.

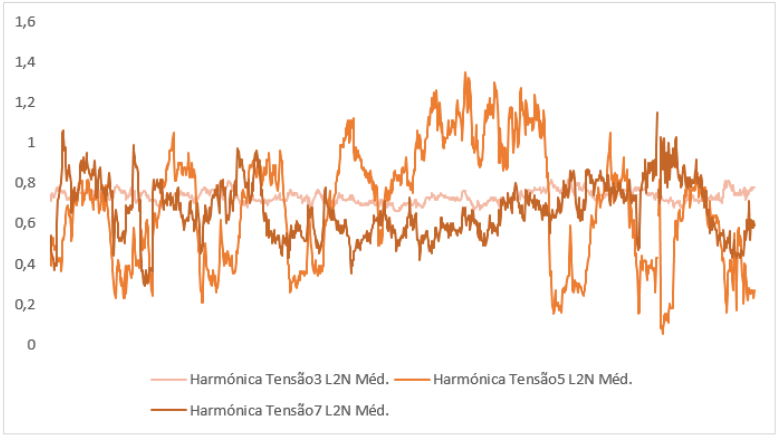


Figura 7.27: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC

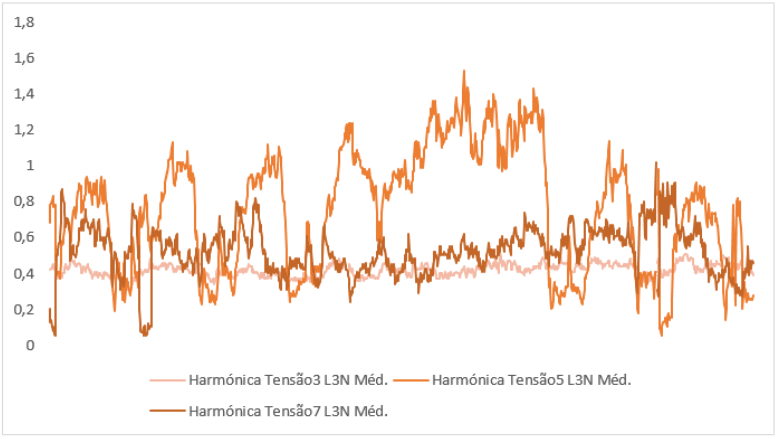


Figura 7.28: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de tensão na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC

Tabela 7.5: Limites de distorção dos harmónicos de corrente

Icc/Ic	**Harmónicos de ordem menor que 11**	**THDi**
menor que 20	4%	5%
20 - 50	7%	8%
50 - 100	10%	12%
100 - 1000	12%	15%
maior que 1000	15%	20%

$$Icc = \frac{Scc}{\sqrt{3} \times Un} \tag{7.1}$$

$$Icc = \frac{400M}{\sqrt{3} \times 17,5k} \tag{7.2}$$

$$IL = \frac{PotnciaContratada}{FP \times \sqrt{3} \times Un} \tag{7.3}$$

$$IL = \frac{303,10k}{FP \times \sqrt{3} \times 17,5k} \tag{7.4}$$

$$\frac{Icc}{IL} = 1319,69 \tag{7.5}$$

Atendendo aos cálculos, podemos concluir que os limites percentuais para os harmónicos e para a THDi são de 15% e 20%, respetivamente.

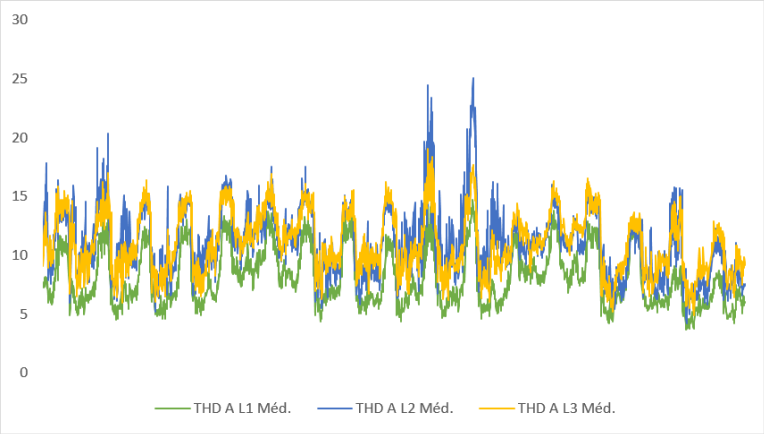


Figura 7.29: Evolução da THDi nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

Através da figura 7.29 podemos ver que a THDi apresenta o seu valor máximo em 25,1% na fase L2. Verificamos que é um valor a ser considerado, acima do valor tabelado, e que já tem proporção suficiente para apresentar consequências, desde sobreaquecimentos à perda da qualidade da energia. Dessa forma, deve ser dimensionado um filtro para corrigir a situação.

Como descrito previamente no capitulo 3 (onde estão discriminados os seus princípios de funcionamento), de entre todas as ofertas de filtros, deve ser escolhida a ideal para o caso em questão. Assim sendo, deve ser dimensionado um filtro ativo paralelo, que permite que as correntes e tensões sejam medidas pelo controlador, calculando-se os valores de intensidade de compensação para o inversor gerar e injetar na rede, o que o torna ideal para compensação de poluição harmónica de corrente. Para além de compensar os harmónicos de corrente, permite compensação de potência reativa.

Para uma eventual resolução do problema associado à poluição harmónica na EHTP, será necessário um estudo mais profundo e complexo do tema, de forma a determinar a sua principal origem. Posteriormente terá de ser feito o dimensionamento de um filtro adequado.

Podemos ver que o valor máximo dos harmónicos no QGBT, nas figuras 7.30, 7.31 e 7.32, não ultrapassa os 8,79%, neste caso o 5º harmónico da fase L2, que por sua vez é o que apresenta novamente os valores percentuais mais elevados das três fases. Sendo o limite de percentagem de variação harmónica, 15% para as três ordens analisadas, podemos concluir que todos se encontram

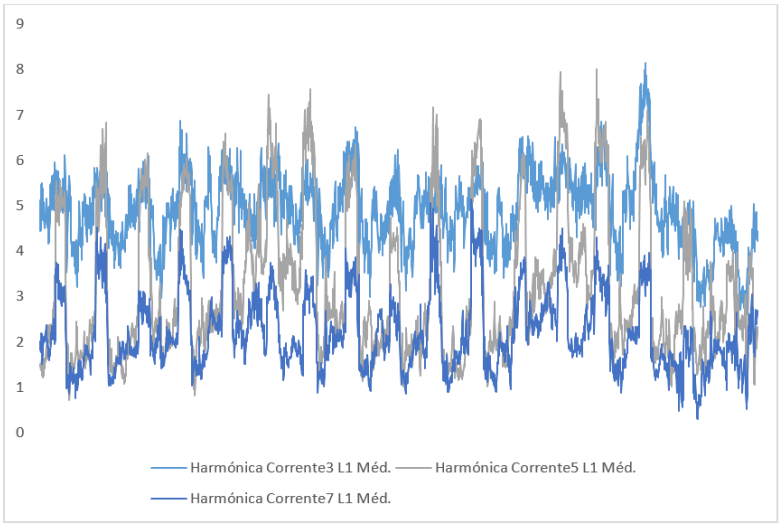


Figura 7.30: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

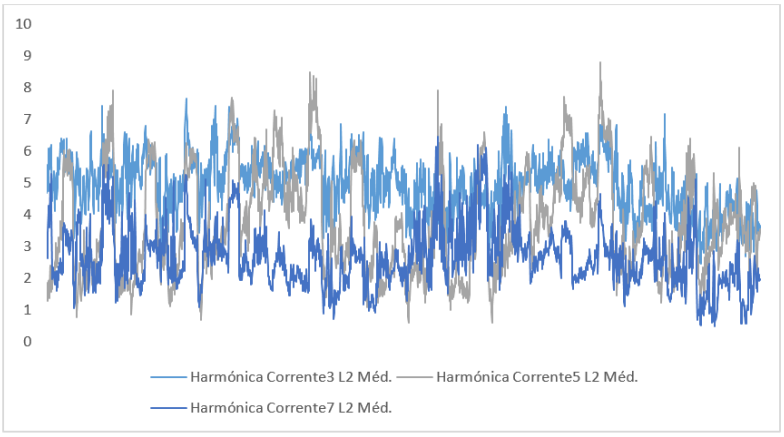


Figura 7.31: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

dentro das restrições estabelecidas.

Para o quadro geral AVAC, procedeu-se à mesma análise, visando a comparação dos valores obtidos com os valores representados na tabela 7.5.

Como pode ser visto pela figura 7.33, os valores percentuais máximos da THDi do quadro geral AVAC são bastante superiores a 20%, na medida que desrespeitam as normas estabelecidas, sendo a fase a L3 a que apresenta os valores mais elevados.

À semelhança da THDi do quadro geral AVAC, os harmónicos de corrente das três fases do quadro geral AVAC, como pode ser visto nas figuras 7.34, 7.35 e 7.36, ultrapassam também os valores de 15%, atingindo seu dobro no terceiro harmónico em todas as fases.

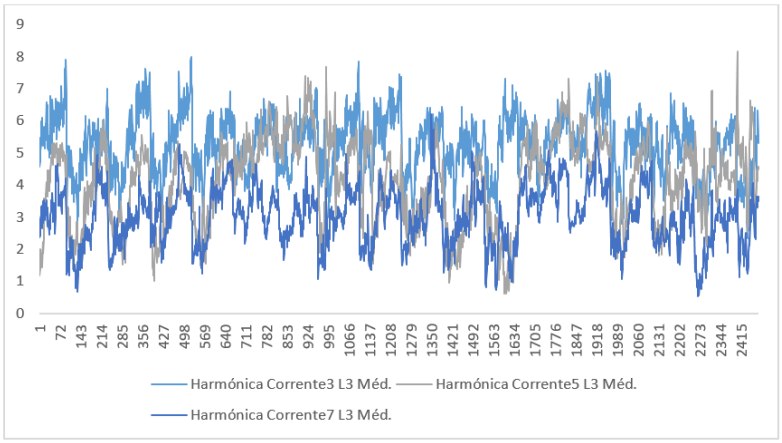


Figura 7.32: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no QGBT

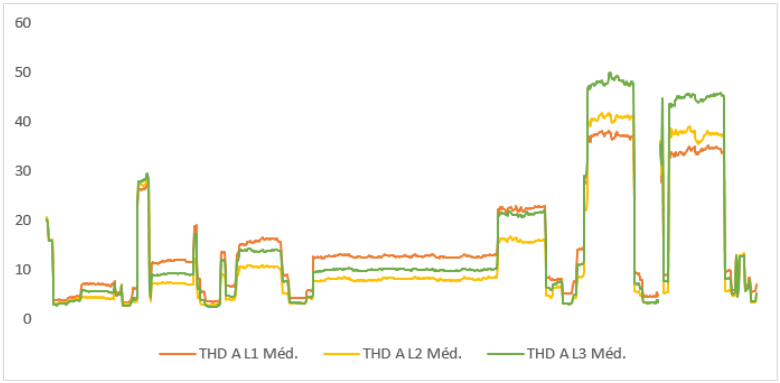


Figura 7.33: Evolução da THDi nas três fases durante o intervalo de tempo de medição no Quadro geral AVAC

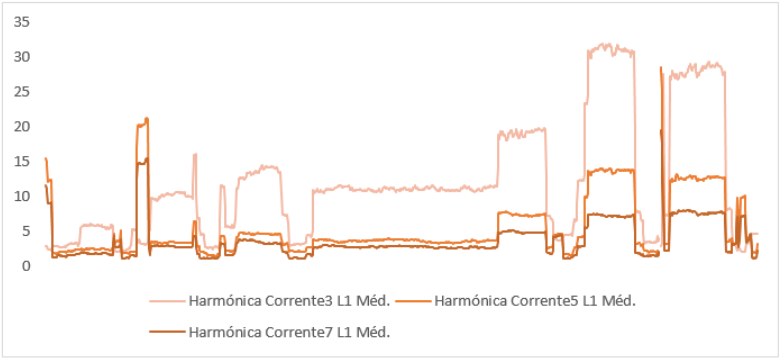


Figura 7.34: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L1 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

Como explicado previamente, visto que as THDi de ambos os quadros ultrapassam os valores padrão, deve ser dimensionado um filtro ativo paralelo para compensar o problema.

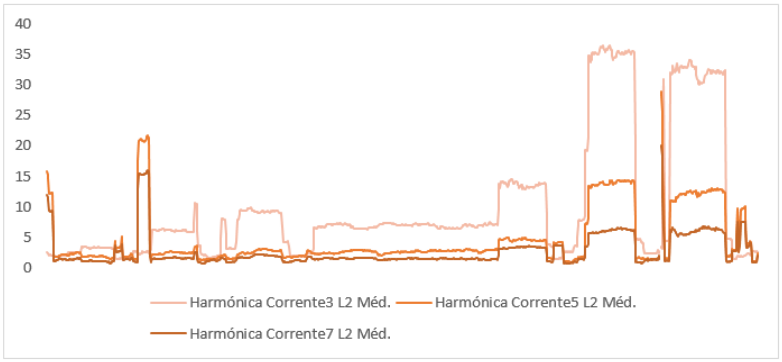


Figura 7.35: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L2 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

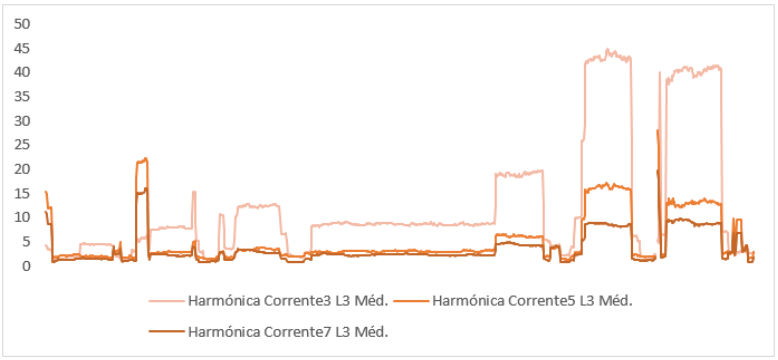


Figura 7.36: Evolução do 3º, 5º e 7º harmónicos de corrente na fase L3 durante o intervalo de tempo de medição no Quadro Geral AVAC

7.4 Iluminação

O âmbito do estudo de iluminação engloba uma série de medidas e procedimentos para que seja possível reduzir o consumo, promovendo a poupança energética, tendo em consideração as normas e restrições existentes. Desta forma, destacam-se as seguintes abordagens:

i) Instalação de sensores de presença ou de movimento em espaços com utilização menos frequente;

ii) Adaptação da potência das lâmpadas do edifício;

iii) Substituição das lâmpadas por equivalentes, mais eficientes e ambientalmente sustentáveis, ou seja, lâmpadas LED.

Para se efetuar a análise e se decidir o veredito associado a cada uma das abordagens acima presentes, foi efetuado o levantamento dos aparelhos luminotécnicos instalados na escola. Utilizando a documentação disponibilizada e os ficheiros em AutoCad (plantas do edifício), concluiu-se que a escola apresenta a maior parte da sua iluminação interior do tipo fluorescente com balastro eletrónico (TL5 ou TC5, dependendo da divisão), variando as suas potências entre 14W, 35W, 49W

e 80W.

Posteriormente, foi utilizado o luxímetro HT307 (figura 7.37, da marca HT Italia, para se medir a iluminância (em lux) dentro de certos espaços selecionados.

Figura 7.37: Luxímetro HT307 utilizado no estudo

7.4.1 Espaços

Para se proceder à qualidade de iluminação, foram selecionadas algumas divisões do edifício, tendo em conta o seu enquadramento espacial em relação à luz natural, optando por espaços em diferentes pisos e exposição solar distinta.

Da totalidade de espaços com diferentes características e tipos de utilização, foram escolhidos os seguintes, descritos no próximo ponto, para se proceder a um estudo mais profundo. Em diversos pontos da mesma divisão, foram efetuadas diferentes medições, para se obter uma média da iluminância em cada.

De realçar que todas as divisões da EHTP estão equipadas com lâmpadas fluorescentes TL5 ou TC5 de diferentes potências. As lâmpadas TL5 são lâmpadas fluorescentes tubulares e as TC5 fluorescentes compactas. Os balastros utilizados em todas as divisões são balastros eletrónicos, à exceção de grandes espaços comuns que apresentam balastros dimáveis, permitindo uma regulação do fluxo de luz mediante as necessidades.

Todos os corredores da escola apresentam sensores crepusculares e os espaços comuns de utilização pontual, tal como balneários ou sanitários, têm sensores de presença.

O espaço exterior é iluminado através de 15 projetores com lâmpadas de descarga, HPI e HPL. Possui sensores horários definidos sazonalmente, mas sobrepõem-se os sensores crepusculares instalados nas áreas exteriores.

A EHTP não possui nenhum tipo de gestão técnica centralizada (GTC) para a iluminação (apenas para sistemas AVAC). Ainda assim 50% dos circuitos dos corredores existentes na escola apresentam um sistema de gestão técnica temporária, o *software* MOGOTIME, programado para o horário conveniente, tendo em conta a altura do ano em causa. Os restantes 50% dos corredores são controlados manualmente pela equipa de segurança.

7.4.1.1 Diversas Divisões

Sala de Estudo

Divisão que serve de exemplo para as restantes salas, visto que apresentam tipologias semelhantes. Liga e desliga a luz diretamente no quadro elétrico. Pela informação de funcionamento que foi transmitida, nos dias de utilização, a iluminação é ligada no quadro de manhã, aquando da abertura da sala e desligada no seu encerramento. As salas de estudo apresentam lâmpadas tubulares dispostas uniformemente na divisão. A divisão medida apresentava lâmpadas TL5 de 49W.

Os valores de iluminância obtidos foram: 330, 580, 322, 530 e 440, perfazendo um valor médio de 440,4 lux.

Gabinete 05

O gabinete 05 é um dos vários gabinetes de serviços administrativos existentes na EHTP. Ainda que com diferentes objetivos de uso, apresentam a mesma disposição e tipologia. A luz pode ser ligada nos interruptores existentes na divisão, que neste caso são 2. Os gabinetes, sendo divisões mais pequenas, têm as suas lâmpadas TC5 dispostas em quadrados, sendo que cada quadrado apresenta 4 lâmpadas de 14W. O gabinete analisado apresentava 8 lâmpadas.

Os valores de iluminância obtidos foram: 209, 310, 352 e 350, perfazendo um valor médio de 305,25 lux.

Cafetaria Self-Service

A cafetaria self-service é o espaço de cantina e bar para os utilizadores diários da EHTP. Sendo das divisões com maior dimensão e afluência, a sua iluminação é ligada e desligada no quadro elétrico. Possui lâmpadas TL5 de 80W. É uma das divisões que apresenta balastro dimável, visto ser um espaço de utilização comum com muita utilização.

Os valores de iluminância obtidos foram: 389, 500, 254, 531, 433, 702 e 560, perfazendo um valor médio de 481,29 lux.

Cozinhas Individuais Comuns

Atendendo ao tipo de ensino da escola, as cozinhas são dos espaços mais utilizados do edifício, podendo ser utilizadas durante o período letivo (como salas de aulas práticas) e também para o desenvolvimento de trabalhos externos. Encontram-se todas interligadas, funcionando como um open-space, ainda que apresentem diversas entradas. Como têm uma elevada iluminação e um uso mais específico, o seu controlo é feito por interruptores.

Os valores de iluminância obtidos foram: 870, 690, 900, 670, 3700, 3500, 1260 e 1350, perfazendo um valor médio de 1617,5 lux.

Pastelaria Fria

A pastelaria fria é uma das duas pastelarias do edifício. A pastelaria quente, à semelhança da pastelaria fria, apresenta a mesma disposição de equipamentos e encontra-se no mesmo andar e corredor. A sua iluminação, tal como as cozinhas individuais comuns, é controlada através de interruptores.

Os valores de iluminância obtidos foram: 570, 557, 730, 360, 200 e 723, perfazendo um valor médio de 523,3 lux.

Corredor principal Piso 2

Os corredores existentes no edifício apresentam características semelhantes, podendo ter maior ou menor comprimento. Foi utilizado como exemplo o corredor principal do piso 2, que liga dois blocos do edifício, nos quais estão diversas salas de aula e de estudo. À semelhança das salas de aula, a sua iluminação é controlada diretamente no quadro elétrico. O corredor principal apresenta 5 lâmpadas TL5 de 49W e está também equipado com um sensor crepuscular.

Os valores de iluminância obtidos foram: 201, 186, 234, 163, 126 e 175, perfazendo um valor médio de 180,8 lux.

7.4.2 Qualidade da Iluminação

Atendendo ao facto do edifício estudado ser um estabelecimento de ensino e de trabalho (visto que para além de restauração, as aulas têm uma elevada componente prática), a necessidade de iluminação adequada é imperativa.

Para ser feita uma avaliação da qualidade da iluminação, ou seja, para se garantir o conforto dos utilizadores da EHTP, respeitando as regras nacionais e europeias, foram comparados

os valores de iluminância medidos, com os estabelecidos pelos orgãos responsáveis. Podem ser destacadas as seguintes: norma europeia EN 126464-1 (Lightning and Light in work places), DL 118/2013 e as normas DIN 5035 e ISO 8995, que descrevem, entre outros, níveis e valores de iluminância apropriados para certo tipo de espaços e utilizações.

Os valores definidos pela norma DIN 5035 baseiam-se na norma ISO 8995 que estabelece requisitos de iluminação para diferentes tarefas, tendo em conta a sua exigência e o bem-estar dos trabalhadores, como pode ser observado na tabela 7.6.

Tabela 7.6: Níveis de iluminância mínima por atividade

Iluminância [lux]	**Exigência da Atividade**
30 - 60	Orientação Estadias temporárias
120 - 250	Tarefas visuais ligeiras com contrastes elevados
500 - 700	Tarefas visuais normais com detalhes médios
1000 - 1500	Tarefas visuais com pequenos detalhes
2000 - 3000	Tarefas visuais muito exigentes com detalhes muito pequenos
Acima de 5000	Casos especiais

Após um estudo da norma EN: 126464-1, tendo em conta os espaços analisados de forma mais complexa, como demonstrado no subcapítulo anterior, foram discriminados os valores de iluminância requisitados para divisões com certos tipos de atividade (apenas foram referidos os exemplos necessários).

Tabela 7.7: Iluminância requisitadas para espaços com atividades dedicadas, segundo a norma EN 126464-1

Espaço	**Iluminância [lux]**
Corredores **Áreas de Circulação**	100
Escadas	150
Cantinas	200
Pastelarias	300
Cozinhas	200 - 300
Escritórios	300
Salas de Aula **Salas de Estudo**	300

Relacionando os valores tabelados (tabela 7.7) e os valores medidos com o luxímetro, podemos concluir que todas as divisões estudadas, dadas como exemplo da totalidade dos espaços do edifício (derivado da sua semelhança tipológica), estão de acordo com os valores mínimos e respeitam todas as normas associadas à qualidade da iluminação para os espaços laborais.

7.4.3 Soluções Analisadas

No que toca à adaptação das potências existentes, não há necessidade de aumento em nenhuma das divisões da EHTP, visto que todos os níveis mínimos de iluminância são cumpridos, e em todos os anos de funcionamento nunca houve queixas ou reclamações dos utilizadores.

A sua redução, ainda que possível em certas divisões (com benefícios a nível de diminuição do consumo e, consequentemente, dos custos), não se revela um investimento lucrativo atendendo ao facto de ser apenas possível em alguns espaços onde, por vezes, as atividades são mais exigentes do que o considerado nas tabelas das normas, como é o caso das cozinhas. Ou seja, quando o trabalho é mais elaborado e exige mais detalhe, a iluminância a mais pode ser vantajosa. Para além disso, a EHTP possui um grande *stock* de todas as lâmpadas em utilização, o que implica a sua utilização antes de se proceder a qualquer tipo de troca.

Por outro lado, a instalação de balastros dimáveis poderia ter efeitos positivos, na medida de redução de luminosidade, e consequentemente de consumo, nas divisões (já referidas) onde a iluminância excede largamente os valores mínimos. Assim, ao invés de ser reduzida a potência das lâmpadas destes espaços, a luz poderia ser adaptada de acordo com a necessidade de luz das atividades em causa.

Em relação aos sensores, conclui-se que os aparelhos já instalados são suficientes e adequados ao funcionamento da escola, não sendo necessário mais nenhum tipo de instalação.

Os corredores, espaços de utilização pontual e espaços exteriores já se encontram devidamente equipados com sensores. As restantes divisões já apresentam o seu tempo de iluminação bem gerido de acordo com o funcionamento da escola, o que justifica que não haja necessidade de investimento.

Uma melhoria que deve ser ponderada pela direção da escola é a integração do sistema de iluminação no GTC já existente. Visto que o sistema AVAC já se encontra englobado e o edifício dispõe de uma sala inteiramente dedicada a este efeito, seria uma medida de fácil aplicação e com consequências positivas com efeitos a curto prazo. Dessa forma poderia ser facilitada toda a gestão dos sensores, luminárias interiores e exteriores em simultâneo com os equipamentos AVAC.

No que toca à substituição das lâmpadas fluorescentes e de descarga por lâmpadas LED, atendendo ao facto deste tipo de lâmpadas ter uma duração média de vida muito superior e apresentar vantagens a nível de consumo, foi uma opção a considerar. No entanto, o *stock* das lâmpadas já instaladas é numeroso, o que implica a sua utilização antes de ser feito qualquer tipo de investimento. Para além disso, o tempo de retorno do investimento da substituição das lâmpadas

existentes em cada uma das divisões seria de vários anos (devido ao seu elevado custo), o que torna a solução inviável.

7.5 AVAC

O sistema de AVAC existente na Escola de Hotelaria e Turismo do Porto é bastante simples. Apenas existem equipamentos do tipo UTA, Chiller e Caldeiras. O edifício tem ainda um sistema de gestão técnica centralizada (GTC) que regula as UTAs, caldeiras e chillers em tempo real de acordo com as necessidades, ajustando a climatização e ventilação de toda a escola de uma maneira uniforme.

O funcionamento do sistema integrado é suportado pelo GTC, ainda que com algumas decisões que restringem e controlam o seu funcionamento, com a finalidade de redução de custos e manutenção dos equipamentos.

7.5.1 Equipamentos Existentes

UTA

As Unidades de Tratamento de Ar (figuras 7.38 e 7.39), cujo funcionamento está explicado no capítulo 5, subcapítulo 5.1, são responsáveis pela produção de ar-condicionado de todos os espaços interiores do edifício. Estão ligadas às condutas de ventilação e apresentam baterias de água quente e fria, por onde passa o ar para que seja aquecido ou arrefecido, respetivamente.

Outras das grandes responsabilidades das UTAs é a ventilação dos espaços da escola, tais como cozinhas, pastelarias e armazéns. Grande parte da energia consumida advém deste fim.

A EHTP apresenta dez UTAs, da marca SYSTEMAIR, modelo DANVENT DV25, que condicionam o ar de todo o edifício, acondicionadas no *rooftop* do edifício. Cada UTA tem responsabilidade do tratamento de ar de espaços específicos.

- UTA1 – Espaços administrativos;
- UTA2 – Auditório;
- UTA3 – Restaurante;
- UTA4 – Cafetaria Self-Service;
- UTA5 – Anfiteatro;
- UTA6 – Biblioteca;
- UTA7 – Mediateca;
- UTA8 – Salas de aula (5, 6 e 7);
- UTA9 – Sala de aula 2;
- UTA 10 – Salas de aula (1, 3, 4, 8, 9, 10 e 11).

Figura 7.38: Vista superior UTAs EHTP

Figura 7.39: Vista inferior UTAs EHTP

Estes equipamentos conseguem fazer a insuflação de ar entre 3000 a 8000 m^3 por hora e são também controladas pelo GTC (figura 7.40), estando, geralmente, configuradas em modo de funcionamento automático. Nos meses de inverno, o seu *setpoint* está configurado para 24ºC nos locais quentes e 28ºC nas divisões mais frias. Quando a temperatura da divisão a ser climatizada é atingida chega ao setpoint, a UTA responsável entra em *stand-by*.

Estão programadas para funcionar entre as 06h30 e as 17h00 mediante as necessidades e os períodos letivos.

Caldeira

As caldeiras (figura 7.41) instaladas têm como objetivo o aquecimento da água, acumulada nos

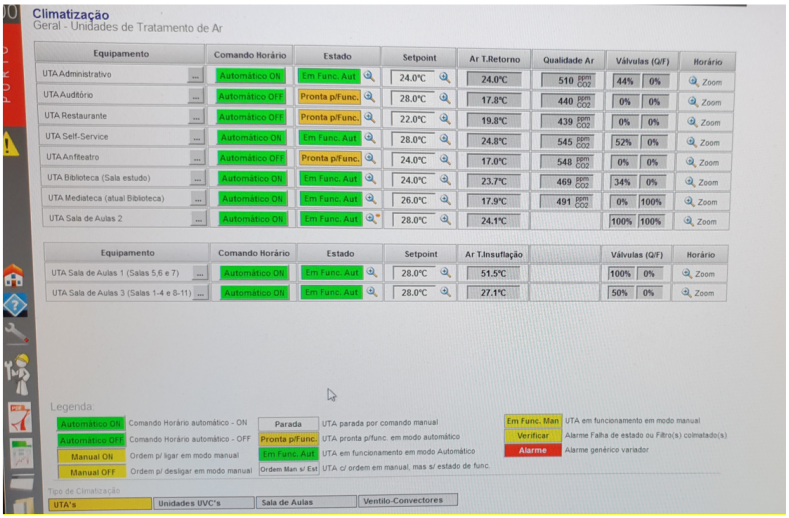


Figura 7.40: *Software* de Gestão Centralizada de AVAC

depósitos, para ser passada às UTAs. Para além disso, aquece a água para os sanitários, balneários e cozinhas.

O edifício apresenta duas caldeiras alimentadas a gás, mas apenas uma diz respeito às UTAs da EHTP, sendo a outra responsável pelo aquecimento da água que tem o hotel como destino. A sua marca é SANT'ANDREA e o seu modelo é o GTE 62.

As caldeiras funcionam com horários variados, mantendo-se, geralmente, no intervalo entre as 08h00 e as 17h00.

Figura 7.41: Caldeira dedicada à escola

Chiller

O chiller (figura 7.42), instalado na cobertura do edifício tem como finalidade a produção de água gelada a ser fornecida aos aparelhos destinados ao arrefecimento do ambiente. Existem dois chillers instalados na EHTP, como as caldeiras, um é destinado ao hotel e outro à escola.

O chiller da escola é da marca LENNOX e o seu modelo é o NAC 380D NM3M, tendo 380 kW de capacidade de arrefecimento. Na maioria do ano, por decisão de gestão, o chiller da escola está desligado, com o objetivo de redução de custos, sendo ligado aquando da chegada dos meses mais quentes, ou em situações pontuais de necessidade. Releva-se que o chiller do hotel se encontra o ano todo ligado.

O seu funcionamento (quando ligado) é gerido pelo GTC, tendo um horário programado das 07h30 às 19h00.

Figura 7.42: Caldeira dedicada à escola

Capítulo 8

Conclusões e Trabalho Futuro

O desenvolvimento desta dissertação tem como objetivo a promoção de medidas de melhoria da eficiência energética e qualidade da energia na Escola de Hotelaria e Turismo do Porto, sendo o principal critério o balanço entre a redução dos custos e o investimento. O projeto foi sustentado por estudos realizados nas áreas da qualidade da energia, fatura elétrica, iluminação e AVAC, atendendo ao edifício em questão.

Este capítulo final congrega todas as conclusões retiradas ao longo do estudo e análise do edifício e suas respetivas características.

8.1 Faturação Elétrica

No seguimento do estudo demonstrado no capítulo anterior, concluiu-se que o tarifário em vigor na EHTP, aplicado pela Galp Energia, é a melhor opção do mercado analisado. Ainda assim, após a análise dos preços que a concorrência disponibiliza no mercado, chegou-se à conclusão que a Iberdrola apresenta um tarifário que se traduz numa faturação muito semelhante à atual.

Assim sendo, o ideal seria negociar com ambas as comercializadoras, de forma a conseguir a maior redução possível na fatura energética.

8.2 Qualidade da Energia

A análise da qualidade energética da EHTP focou-se no estudo dos valores registados pelo analisador de rede instalado no QGBT e no Quadro Geral AVAC. A partir destes valores foi estudada a tensão nas fases, o equilíbrio de tensão e corrente, a energia reativa e o fator potência, bem como a frequência e poluição harmónica.

Concluiu-se que a tensão nas fases se encontra equilibrada e dentro dos valores tabelados, tanto para o QGBT, como para o quadro geral AVAC.

A corrente nas fases do QGBT e do quadro geral AVAC não está equilibrada em ambos os casos (havendo fases substancialmente mais carregadas), o que obrigará a uma análise dos equipamentos instalados, para que seja feito um balanço dos seus consumos, de forma a distribuir as cargas equalitariamente pelas três fases.

A frequência do sistema nunca ultrapassa os limites estabelecidos, não sendo por isso alvo de melhorias.

No que toca ao fator potência, concluiu-se que o sistema apresenta o seu FP, muitas vezes abaixo do valor mínimo para que não haja faturação da energia reativa. Dessa forma, a bateria de condensadores instalada deve ser redimensionada, aumentando o número dos seus escalões e diminuindo as suas potências. Esta melhoria, levaria à injeção de menores incrementos de energia reativa e evitaria variações bruscas no fator potência.

Ainda assim, através da análise das faturas elétricas da EHTP, constatou-se que o custo deste tipo de faturação é irrisório, demonstrando que os desvios de reativa são muito curtos, não havendo necessidade de investimentos em relação a este tema.

Em relação à poluição harmónica, a THDu do QGBT e do quadro geral AVAC estão de acordo com o expectável, bem como os seus harmónicos, respeitando os valores descritos nas normas e representados nas tabelas representadas no capítulo 7.

A THDi de ambos os quadros analisados ultrapassa os valores referenciados, o que exige o dimensionamento de um filtro ativo paralelo que permite a compensação harmónica de corrente e de potência reativa.

8.3 Iluminação

A iluminação da escola não apresenta muitas melhorias a serem aplicadas.

No entanto, a integração de todo o sistema de iluminação no GTC seria um enorme passo em direção a uma maior eficiência e poupança energética, regulando todo o funcionamento dos equipamentos de iluminação em paralelo com os AVAC.

Atendendo aos valores mínimos de iluminância, a potência das lâmpadas poderia ser reduzida em algumas divisões, ainda que não se traduzisse num investimento largamente vantajoso. E como foi referido no capítulo anterior, a utilização de balastros dimáveis teria um impacto mais positivo porque permitiria a regulação da luz em divisões onde poderiam ser realizadas atividades com necessidade de diferentes valores de iluminância, não sendo por isso necessária uma redução de potência.

Os sensores já instalados (crepusculares, temporários e de presença) são suficientes para o funcionamento e necessidades dos diversos espaços, o que permite concluir que não há nenhuma melhoria a ser implementada neste tópico.

Por outro lado, concluiu-se que a substituição por lâmpadas LED não surtiria efeitos a curto prazo, no que toca ao retorno do investimento, visto que a poupança na faturação energética anual demoraria vários anos a cobrir o investimento.

8.4 AVAC

Em relação aos sistemas AVAC instalados na EHTP, considera-se que estão otimizados. Todos os equipamentos apresentam as potências indicadas de acordo com as necessidades e se encontram geridos pelo software de GTC, com horários bem definidos de acordo com a época sazonal. Por decisão da direção e gestão interna da escola, certos equipamentos são desligados por períodos pré-determinados, visando a redução de custos.

As únicas melhorias a serem implementadas, seria a aquisição de aparelhos mais modernos e eficientes, como é o caso dos chillers ou das UTAs. No entanto, atendendo ao facto de serem equipamentos relativamente modernos e os novos investimentos serem muito elevados, de momento, a sua substituição não se revela uma decisão viável.

8.5 Continuação do Projeto

Tendo em conta a abrangência de temas que podem ser estudados neste âmbito, contata-se que os pontos que foram propostos estudar e analisar, foram satisfeitos, cumprindo com os objetivos.

Ainda assim, recomenda-se a continuação do projeto realizado, na medida em que pode ser feito um estudo mais minucioso dos temas em causa.

Sugere-se uma análise minuciosa da totalidade do espetro harmónico, de forma a determinar o cerne do problema no que toca à poluição harmónica, com o objetivo de melhorar a qualidade da energia e minimizar os custos de energia reativa (ainda que seja um valor irrisório).

No seguimento do mesmo tema, poderá ser feito um redimensionamento da bateria de condensadores, variando a sua potência ou os seus escalões mediante a necessidade de compensação reativa do sistema.

O facto do edifício ter sido reabilitado recentemente, desvirtua a necessidade de grandes investimentos. Assim sendo, daqui a uns anos, com a descida do preço da tecnologia, aparecimento de equipamentos mais modernos e eficientes, bem como a incorporação e adaptação às energias renováveis, deverá ser realizado novamente um estudo para que se possa proceder a uma substituição dos equipamentos presentes na EHTP e consequentemente otimizar a sua eficiência energética.

Anexo A

Certificados de Qualidade dos Equipamentos

A.1 Certificado de Calibração do Analisador de Redes

Assinatura válida

Digitally signed by LABMETRO ONLINE
Date: 2017.06.21 12:05:31 +01'00'
Reason: Documento aprovado electronicamente

IPAC acreditação M0059 Calibração

Laboratório de Calibração em Metrologia Electro-Física

Certificado de Calibração

Data 21.06.2017 Certificado nº. CELE3569/17 Página 1 de 13

Equipamento	**ANALISADOR DE ENERGIA** Marca: FLUKE Nº ident.: **ANR013** Modelo: 435 Nº série: 19331129 Indicação: Digital
Cliente	**MANVIA MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES E CONSTRUÇÃO SA** RUA MÁRIO DIONÍSIO, 2 2799-557 LINDA-A-VELHA
Data de Calibração	**21.06.2017**
Condições Ambientais	Temperatura: 23,1 ºC Humidade relativa: 64,0 %
Procedimento	PO.M-DM/EL.EC: 02 (Ed. I), 03 (Ed. H), 05 (Ed. J)
Rastreabilidade	Wavetek 7001, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). Fluke 5790A, rastreado à 1A CAL, Kassel (Alemanha, Dakks). DC > 1000V: Elabo 94-8A, rastreado à Elabo GmbH (Alemanha, Dakks) Fluke 5790A e Fluke A40/A40A, rastreado à 1A CAL, Kassel (Alemanha, Dakks). Fluke Y5020, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). AC > 1000V: Elabo 94-8A, rastreado à Elabo GmbH (Alemanha, Dakks). Zera COM3003, rastreado ao Federal Institute of Metrology METAS (Suiça).
Resultados	Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo. A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02. Nota : Especificação de fabricante nos testes realizados.

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection

Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written aproval of the issuing laboratory.

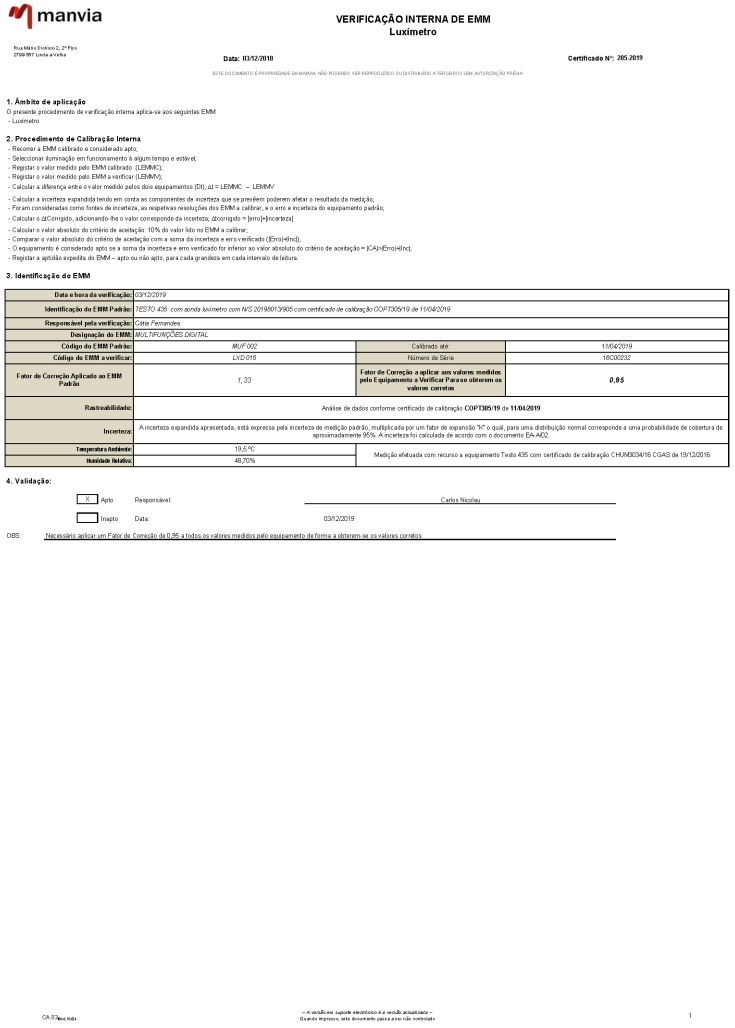
instituto de soldadura e qualidade

labmetro@isq.pt http//metrologia.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 80 34 / 81 86 / 80 20 • Fax: +351 21 422 81 07

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10 / 50 • Fax: +351 22 747 19 19 / 745 57 78

A.2 Certificado de Calibração do Luxímetro



manvia

Rua Mário Dionísio 2, 2º Piso
2799-557 Linda-a-Velha

VERIFICAÇÃO INTERNA DE EMM
Luxímetro

Data: 03/12/2019 **Certificado Nº: 285/2019**

ESTE DOCUMENTO É PROPRIEDADE DA MANVIA, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU DISTRIBUÍDO A TERCEIROS SEM AUTORIZAÇÃO PRÉVIA

1. Âmbito de aplicação
O presente procedimento de verificação interna aplica-se aos seguintes EMM:
- Luxímetro

2. Procedimento de Calibração Interna
- Recorrer a EMM calibrado e considerado apto;
- Seleccionar iluminação em funcionamento à algum tempo e estável;
- Registar o valor medido pelo EMM calibrado (LEMMC);
- Registar o valor medido pelo EMM a verificar (LEMMV);
- Calcular a diferença entre o valor medido pelos dois equipamentos (Dt); Δt = LEMMC – LEMMV
- Calcular a incerteza expandida tendo em conta as componentes de incerteza que se preveem poderem afetar o resultado da medição;
- Foram consideradas como fontes de incerteza, as respetivas resoluções dos EMM a calibrar, e o erro e incerteza do equipamento padrão;
- Calcular o Δt Corrigido, adicionando-lhe o valor correspondente da incerteza; Δtcorrigido = [erro]+[incerteza]
- Calcular o valor absoluto do critério de aceitação: 10% do valor lido no EMM a calibrar;
- Comparar o valor absoluto do critério de aceitação com a soma da incerteza e erro verificado ([Erro]+[Incl]);
- O equipamento é considerado apto se a soma da incerteza e erro verificado for inferior ao valor absoluto do critério de aceitação = |CA|>|Erro|+|Incl|;
- Registar a aptidão expedita do EMM – apto ou não apto, para cada grandeza em cada intervalo de leitura.

3. Identificação do EMM

Data e hora da verificação:	*03/12/2019*		
Identificação do EMM Padrão:	*TESTO 435 com sonda luxímetro com NS 20180013/905 com certificado de calibração COPT305/19 de 11/04/2019*		
Responsável pela verificação:	*Catia Fernandes*		
Designação do EMM:	*MULTIFUNÇÕES DIGITAL*		
Código do EMM Padrão:	*MUF 002*	Calibrado até:	*11/04/2019*
Código do EMM a verificar:	*LXD 015*	Número de Série	*16C00232*
Fator de Correção Aplicado ao EMM Padrão	*1,33*	**Fator de Correção a aplicar aos valores medidos pelo Equipamento a Verificar Para se obterem os valores corretos**	***0,85***
Rastreabilidade:	Análise de dados conforme certificado de calibração **COPT305/19** de **11/04/2019**		
Incerteza:	A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza de medição padrão, multiplicada por um fator de expansão "k" o qual, para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de cobertura de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.		
Temperatura Ambiente:	19,5 ºC	Medição efetuada com recurso a equipamento Testo 435 com certificado de calibração CHUM0034/16 CGAS de 19/12/2016	
Humidade Relativa:	48,70%		

4. Validação:

[X] Apto Responsável: Carlos Nicolau

[ ] Inapto Data: 03/12/2019

OBS: Necessário aplicar um Fator de Correção de 0,85 a todos os valores medidos pelo equipamento de forma a obterem-se os valores corretos.

manvia

VERIFICAÇÃO INTERNA DE EMM
Luxímetro

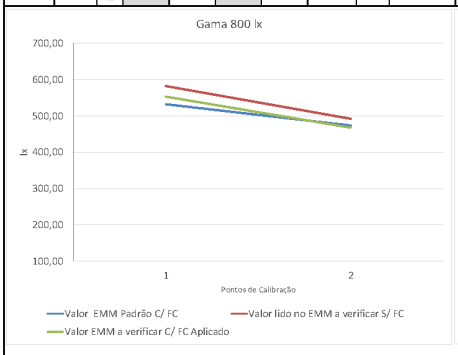
Rua Mário Dionísio 2, 2º Piso
2790-557 Linda-a-Velha

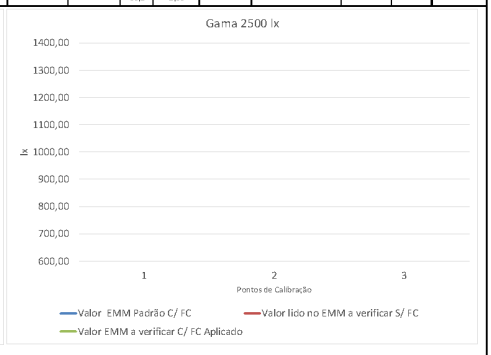
Data: 03/12/2018 **Certificado Nº: 285-2019**

ESTE DOCUMENTO É PROPRIEDADE DA MANVIA, NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO OU DISTRIBUÍDO A TERCEIROS SEM AUTORIZAÇÃO PRÉVIA

5. Registo dos resultados da verificação:

Grandeza		Medições	Valor Aplicado no EMM Padrão (sem Fator Correção)	Valor EMM Padrão Com Fator Correção	Valor lido no EMM a verificar	Fator de Correção EMM a verificar (se aplicável)	Valor EMM a verificar com Fator Correção Aplicado (se aplicável)	Δ1 Erro (Diferença entre os dois valores medidos)		Δ2 Erro (Diferença entre Valor EMM Padrão c/Fator de Correção e Valor lido EMM a Verificar)		Incerteza	Fator de Expansão (K)	Δcorrigido |Δ2Erro|+|Inc|		Critério de Aceitação (10% do valor medido - EMM a verificar)	Resultado	Aptidão
Função	Gama																	
		x2	109,00	144,97	152,00	0,95	144,40	43,00	28,3%	0,57	0,4%	9,900	2,03	10,47	7,3%	14,44	Aprovado	
		x3	216,00	287,28	302,00	0,95	286,90	86,00	28,5%	0,38	0,1%	9,900	2,03	10,28	3,6%	28,69	Aprovado	
	800 lx	x1	356,0	473,5	492,0	0,95	467,40	136,00	27,6%	6,08	1,3%	25,66	2,03	31,74	6,8%	46,74	Aprovado	
		x2	400,0	532,00	582,0	0,95	552,90	182,00	31,3%	20,90	3,8%	25,66	2,03	46,56	8,4%	55,29	Aprovado	
		x3	708,00	941,64	962,00	0,95	913,90	254,00	26,4%	27,74	3,0%	25,66	2,03	53,40	5,8%	91,39	Aprovado	
		x3										42,5	2,03					
	1850 lx	x1										58,2	2,03					
		x2										58,2	2,03					
		x3										58,2	2,03					





EMM apto se:
Δcorrigido ≤ 10% do valor medido no EMM a verificar

Anexo B

Divisões da Escola de Hotelaria e Turismo do Porto

Tabela B.1: Divisões do piso -2 da EHTP

Código	Divisão	Área [metros quadrados]
c-203	Corredor de Circulação	31
c-207	Zona técnica	90
c-206	Zona técnica	65

Tabela B.2: Divisões do piso -1 da EHTP

Código	**Divisão**	**Área [metros quadrados]**
c-151	Armazém de bebidas	17
c-150	Armazém de tubérculos	8
c-149	Armazém de secos	20
c-148	Câmaras frigoríficas	72
c-147	Pastelaria quente	40
c-146	Despensa	6
c-145	Pastelaria fria	42
c-162	Balneário masculino	14
c-163	Balneário feminino	16
a-102	Arrumos	8
a-101	Corredor de circulação	20
c-156	Gabinete de Chefe de Cozinha	11
c-156a	Gabinete econom	10
c-111	Corredor de circulação	76
c-158	Sala do P.T.	26
c-157	Sala dos Q.E.	14
c-155a	Armazém de pastelaria	15
c030	Salas de painéis fotovoltaicos	14
c-152	Compactação de embalagens	45
c-153	Grupo gerador (eletrogéneo)	27
c031	Escadaria	9
c-110	Corredor de circulação	69
c-166	Corredor de circulação	29
c-145	Cozinha fria	40
c-109	Corredor de circulação	19
c-145a	Cozinha de legumes	13
c-145b	Cozinha de peixe	13
c-108	Corredor de circulação	46
c-144	Cozinha (escola)	54
c-139	Lavagem	19
c-143	Cozinha didática	57
a-103	Arrumos	111
c-165a	Sala das bombas de água	8
c-165	Corredor de circulação	9
c-114	Corredor de circulação	44
c-129	Central informática	17
c-130	Cafetaria self-service	186
c-128	Balneário feminino	29
c-127	Balneário masculino	14
c-126	Balneário masculino	14
c-125	Sanitários femininos	27
c-101	Corredor de circulação	13
c-114	Corredor de circulação	144
c-118	Balneário M. de professores	18
c-119	Sanitários M. de professores	23
c-115	Balneário F. de professores	14
c-116	Sanitários F. de professores	10
c-136	Sala de limpeza	10
c-134	Serviços self-service	12
c-113	Corredor de circulação	14
c-131	Sanitários masculinos	11
c-131	Sanitários femininos	9
c-133	Restaurante de aplicação	133
c-135	Serviços de restaurante	14
c-142	Cave do dia	14
c-140	Copa suja	27
c-137	Lixo orgânico	15
c-138	Cozinhas individuais	145
c-135a	Copa	5

Tabela B.3: Divisões do piso 0 da EHTP

Código	**Divisão**	**Área [metros quadrados]**
b001	Corredor de circulação	42
b018	Arrumos	4
b015	Arrumos	5
b017	Sanitários femininos	8
b002	Hall	15
b019	Sanitários masculinos	4
b014	Espaço comum	37
b005	Secretaria	30
b003a	Corredor de circulação	8
b006	Contabilidade	20
b007	Reprografia	19
b008	Sala de reuniões	20
b003	Corredor de circulação	44
b010	Sala da sub-direção	18
b009	Sala da direção	19
c033	Corredor de circulação	113
c001	Corredor de circulação	33
c002	Espaço comum	8
c024	Sala de Aula 7	50
c023	Sala de aula 6	50
c022	Sala de aula 5	50
c021	Sala de aula 4	50
c003	Corredor de circulação	99
c026	Sanitários masculinos	14
c025	Sanitários femininos	13
c020	Sala de aula 1	40
c019	Sala de aula 2	39
c018	Sala de aula 3	41
c017	Sala de informática 1	43
c004	Corredor de circulação	143
c016	Sala de informática 2	47
c015	Biblioteca	114
c014	Mediateca	55
c012	Sala de professores	71
c031	Sala das caldeiras	110
c018	Anfiteatro	91
c009	Sala de bar	75
c010	Apoio de bar	9
c011	Sala de enologia	92
c006	Corredor de circulação	44
c013	Gabinete de coordenação	15

Tabela B.4: Divisões do piso 1 da EHTP

Código	**Divisão**	**Área [metros quadrados]**
a101	Corredor de circulação	17
a102	Corredor de circulação	7
a132	Escritório	9
b103	Ginásio	261
b109	Espaço técnico	11
c108	Hall do auditório	45
c101	Corredor de circulação	34
c107	Sala de Aula 11	50
c106	Sala de Aula 10	50
c105	Sala de Aula 9	50
c104	Sala de Aula 8	44
c103	Corredor de circulação	103
c110	Sanitários masculinos	14
c111	Sanitários femininos	13
c113	Arrecadação	3

Tabela B.5: Divisões do piso 2 da EHTP

Código	**Divisão**	**Área [metros quadrados]**
c202	Área técnica	373
c201	Corredor de circulação	29
b205	Área técnica	41
b203	Sanitários masculinos	9
b202	Sanitários femininos	8
b201a	Corredor de circulação	29

Referências

[1] International Energy Agency. Current world status, Setembro 2019. http://www.iea.org/stats/index.asp.

[2] Nações Unidas. World population, Setembro 2019. https://population.un.org/wpp/.

[3] Parlamento Europeu. Principais objetivos da política energética da ue, Setembro 2019. http://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais.

[4] Políticas de Eficiência Energética na UE, Setembro 2019. http://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/69/eficiencia-energetica.

[5] Turismo de Portugal. Escola de hotelaria e turismo do porto, Outubro 2019. https://escolas.turismodeportugal.pt/escola/porto/.

[6] Manvia. Informação institucional, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/institucional/.

[7] Manvia. Áreas de atuação, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/.

[8] Manvia. Gestão, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/gestao/.

[9] Manvia. Edifícios, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/edificios/.

[10] Manvia. Saúde, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/saude/.

[11] Manvia. Ambiente, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/ambiente/.

[12] Manvia. Energia, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/energia-e-engenharia/.

[13] Manvia. Indústria, Maio 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/industria/.

[14] Manvia. Analisadores, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/analisadores/.

[15] Manvia. Parques eólicos, Outubro 2019. http://www.manvia.pt/areas-de-negocio/parques-eolicos/.

[16] Worldometers. World population clock, Setembro 2019. http://www.worldometers.info/world-population/.

[17] Direção-Geral de Energia e Geologia. Produção e consumo de energia, Setembro 2019. https://rea.apambiente.pt/content/produç~ao-e-consumo-de-energia.

[18] Rede Elétrica Nacional. Produção renovável em portugal, Setembro 2019. https://ren.pt/consumonacional.

[19] Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Produção de energias renováveis, Setembro 2019. https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao.

[20] European statistics. Intensidade energética em portugal, Outubro 2019. https://eurostat.eu/energy/intensity.

[21] Direção-Geral de Energia e Geologia. Descarbonização global, Outubro 2019. http://www.dgeg.gov.pt/?cn=716572028528AAAAAAAAAAAA.

[22] Nações Unidas. Importância do global environment outlook, Novembro 2019. https://www.unenvironment.org/global-environment-outlook.

[23] Nações Unidas. Global environment outlook, Novembro 2019. https://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6/html/index.html?page=2&origin=reader.

[24] Agência Portuguesa do Ambiente. Protocolo de quito, Dezembro 2019. https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500.

[25] Nações Unidas Alterações Climáticas. Mecanismos de desenvolvimento limpo do protocolo de quito, Dezembro 2019. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism.

[26] Nações Unidas Alterações Climáticas. Desenvolvimento comum no protocolo de quioto, Dezembro 2019. https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/joint-implementation.

[27] Nações Unidas Alterações Climáticas. Troca de emissões, Dezembro 2019. https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading.

[28] Nações Unidas Alterações Climáticas. Protocolo de quioto, Dezembro 2019. https://unfccc.int/kyoto_protocol.

[29] Agência Portuguesa do Ambiente. Características do acordo de paris, Dezembro 2019. https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=1367.

[30] Nações Unidas Alterações Climáticas. Acordo de paris, Dezembro 2019. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement.

[31] Parlamento Europeu. Pacote clima-energia: "três vintes"até 2020, Dezembro 2019. http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//PT.

[32] Portugal Energia. Funcionamento do setor energético, Dezembro 2019. https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/.

[33] Direção-Geral de Energia e Geologia. Plano nacional de ação para as energias renováveis e estratégia para as energias renováveis, Dezembro 2019. http://www.dgeg.gov.pt/?cn=716572028528AAAAAAAAAAAA.

[34] República Portuguesa. Plano nacional energia clima 2030, Janeiro 2020. https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=0eada7c4-4f17-4d13-a879-6700f302b7e0.

[35] Direção-Geral de Energia e Geologia. Modelo do pnec 2030 destinado à comissão europeia, Janeiro 2020. http://www.dgeg.gov.pt/?ln=8334792341949BBDAAAAAAAAA.

[36] Direção-Geral de Energia e Geologia. Normas europeias, Janeiro 2019. http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=67686770853585537AAAAAAAA.

[37] Portal da Eficiência Energética. Normas nacionais, Janeiro 2020. http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/nacional.html.

[38] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Qualidade da onde de tensão, Dezembro 2019. http://www.erse.pt/pt/electricidade/qualidadedeservico/qualidadedeservicotecnica/Paginas/Qualidadedaondadetensao.aspxr.

[39] TOKEN Engenharia. Serviços - qualidade da energia, Dezembro 2019. https://tokenengenharia.com.br/servicos/estudo-de-qualidade-de-energia/.

[40] EDP. Manual da qualidade da energia elétrica, 2015, Dezembro 2019. https://edp.pt/documentos/qualidadedaenergia/manual2015/.

[41] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Qualidade da energia - cavas de tensão, Dezembro 2019. http://www.erse.pt/pt/glossario/Paginas/glossario.aspx?folder=b3caa940-997f-4b64-b184-ba03262cc5a9&master=ErsePrint.master.

[42] João Abel Peças Lopes. Instalações Elétricas - Perturbações na Tensão e seus impactos na exploração de Redes Elétricas Industriais. Relatório técnico. URL: https://paginas.fe.up.pt/~jpl/textos/QUAT_FF.pdf.

[43] Voltimum. Monitorização da qualidade da energia, Novembro 2019. https://www.voltimum.pt/artigos/monitorizacao-da-qualidade-da-energia-para.

[44] J. Neves dos Santos. Correcção do Fator Potência. Relatório técnico. URL: https://paginas.fe.up.pt/~jns/material_didatico/CorreccaoFactorPotenciaFinal.pdf.

[45] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Norma np en 50160, Novembro 2019. https://paginas.fe.up.pt/~ee86007/pagina_norma_np_en_50160-2001.htm.

[46] ADENE Agência para a Energia. Manual da etiqueta energética, Novembro 2019. http://aped.pt/application/files/9814/9668/1888/manual-etiqueta-energetica-36-3.pdf.

[47] Philips. Restituição cromática, Novembro 2019. http://www.docs.lighting.philips.com/global/lighting_university/courses_new2015/ABT/portuguese/office_measure_light_08.html.

[48] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Plano de promoção da eficiência no consumo - ppec, Janeiro 2020. http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/poupar/Documents/MBP_Saude_IBD_PPEC2013_2014.pdf.

[49] Diário de Notícias. Proibição de lâmpadas convencionais, Janeiro 2020. https://www.dn.pt/economia/lampadas-convencionais-proibidas-a-partir-de-sexta-feira-2743803.html.

[50] Expresso. Proibição de lâmpadas de halogéneo, Janeiro 2020. https://expresso.pt/sociedade/2018-09-02-O-fim-das-lampadas-de-halogeneo-A-proibicao-respons/.

[51] Portal da Energia. Etiqueta da eficiência energética, Janeiro 2020. https://www.portal-energia.com/etiqueta-da-eficiencia-energetica-uma-compra-inteligente/.

[52] Universidade do Algarve. Sistemas de controlo de iluminação, Janeiro 2020. https://ise.ualg.pt/sites/ualg.pt/files/ise/Electrica/apresentacao_-_philips.pdf.

[53] Instituto Superior Técnico de Engenharia da Universidade de Lisboa. Equipamentos de avac, Outubro 2019. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571244676/Equipamentos.pdf.

[54] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Tarifas e preços, Janeiro 2020. http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx.

[55] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Estrutura tarifária do setor elétrico em 2019, Janeiro 2020. http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2019/Documents/EstruturaTarif%C3%A1ria2019(Dez2018).pdf.

[56] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Tarifas de energia em 2020, Janeiro 2020. http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2019/Documents/TarifasePre%C3%A7os2019.pdf.

[57] Entidade Reguladora do Setor Elétrico. Períodos horários, Janeiro 2020. http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx?master=ErsePrint.master.