FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Eficiência Energética em Edifícios – Escola Artística de Soares dos Reis

Daniel João Macedo Pinhel

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-orientador: Engenheiro Fernando Ferreira Ramos

23 de Fevereiro de 2018

© Daniel João Macedo Pinhel, 2018

Resumo

Num contexto de grande desenvolvimento económico mundial e aumento exponencial de consumo de energia e recursos, torna-se premente desenvolver um trabalho consistente na área de gestão eficiente dos recursos energéticos. A utilização massiva dos recursos de origem fóssil, não renováveis, coloca uma pressão insuportável ao meio ambiente.

Os centros urbanos, mais concretamente, os edifícios, são locais de elevado potencial de redução de consumos e custos, uma vez que muitos deles possuem elevadas exigências energéticas. Assim, a aplicação de medidas de eficiência energética, incluindo a exploração de tecnologias de produção de energia através de recursos naturais renováveis, revela-se muito vantajosa. A generalização destas medidas é fundamental para um desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho incidirá sobre uma categoria específica de edifícios, as escolas, tendo como um caso de estudo prático de aplicação a Escola Secundária Artística de Soares dos Reis (EASR). Caracteristicamente, as escolas possuem grandes necessidades energéticas para o seu funcionamento. A EASR não é exceção, e por ser uma escola artística (contem oficinas com máquinas e equipamentos diversos), apresenta certamente maiores consumos energéticos relativamente às restantes escolas.

Foram avaliadas as condições atuais da escola em diversas áreas fundamentais para a eficiência energética. Assim, analisou-se o tarifário e a qualidade de fornecimento de energia à escola, e os sistemas de: iluminação, AVAC e de produção fotovoltaica. Após o levantamento de todas as informações necessárias e devida caracterização, estudou-se a possibilidade de otimizar e reduzir custos de cada um dos aspetos referidos anteriormente. Para cada análise são feitos os estudos de implementação e estudos económicos, sendo posteriormente propostas as alterações resultantes.

Palavras-chave: eficiência energética, iluminação, consumo energético, tarifário, qualidade de energia, AVAC, sistema fotovoltaico, edifícios, escola

Abstract

In a context of great global economic development and exponential increase in resources and energy consumption, it is imperative to develop consistent work in matter of efficient management of energy resources. The massive use of fossil, non-renewable resources puts unbearable pressure on the environment.

The urban centers, more precisely buildings, are places of great potential of consumption and cost reduction, since many of them have high energetic requirements. Thus, the application of energy efficiency measures, including the exploitation of energy production technologies through renewable natural resources, is highly advantageous. The generalization of these measures is fundamental for sustainable development.

The present work will focus on a specific category of buildings, which are the schools, having as a practical case study the Secondary Artistic School of Soares dos Reis (EASR). Characteristically, schools have large energy needs for their operation. The EASR is no exception, and due to fact that is an art's school (it contains factories with different machines and equipment), it certainly has higher energy consumption compared to other schools.

The school's current conditions were evaluated in several key areas for energy efficiency. Thus, the tariffs and the quality of energy supply to the school were analysed, as well as the systems of: lighting, HVAC and photovoltaic production. After all necessary information collected and proper characterization, the possibility of optimizing and cost reducing of each of the previously mentioned aspects was studied. For each analysis, the economic and implementation studies were made, then the resulting changes are proposed.

Keywords: energy eficiency, lighting, energy consumption,tariff, power quality, HVAC, photovoltaic system, buildings, school

Agradecimentos

Ao longo da realização desta dissertação, foram várias as pessoas e instituições, que deram o seu contributo para que o trabalho pudesse chegar a bom porto. Pelo apoio prestado, a todos eles devo os meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Professor Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, pela sua prontidão em me apoiar nesta fase fulcral da vida e do curso académico, pela genuína simpatia e disponibilidade para me orientar ao longo deste trabalho e por ser uma referência ao longo de todo o meu percurso académico. Foi para mim uma honra ser seu orientando.

Ao meu co-orientador Engenheiro Fernando Ferreira Ramos, por permitir a realização desta dissertação em ambiente empresarial, na Manvia, e por toda a orientação e conhecimento que me passou, enriquecendo o meu trabalho e a minha pessoa.

Ao Engenheiro Tiago Fernandes pela sua disponibilidade e apoio ao longo da dissertação, também fundamental para a conclusão do trabalho.

Ao Técnico Polivalente Residente na escola, Sr. José Saúde, pela sua boa vontade e disponibilidade para me ajudar na recolha dos dados fundamentais para o meu trabalho, com o qual pude adquirir conhecimento. Uma palavra de apreço pela sua genuinidade e integridade.

Ao Engenheiro Nuno Pereira pelo acompanhamento e orientação na fase inicial desta dissertação.

A todos os colaboradores da Manvia por me receberem com simpatia integrando-me no seu ambiente.

Para além de quem contribuiu diretamente para o resultado da minha dissertação, desejo ainda agradecer a quem em mim depositou confiança e amizade. O seu apoio foi vital. ’

Ao meu amigo e colega de trabalho na Manvia, Diogo Castro, pelo companheirismo e apoio. Agradecer o seu incentivo, disponibilidade e boa disposição, que muito me ajudou a ultrapassar as dificuldades dos últimos 6 meses.

À minha família, especialmente, aos meus pais, irmão e avó, que me apoiam sempre, sendo parte de quem sou hoje.

Aos meus amigos Susana Alves, David Silva, Maria Luís e Pedro Pinto, com quem convivi desde os primeiros passos no curso. A eles devo uma palavra especial, pela entreajuda, pelos momentos partilhados e incontáveis memórias que levarei comigo, juntamente com a amizade.

Ao António Sousa e Márcio Fontes e a todos os meus amigos, cujos nomes poderia também referir, um sincero agradecimento pela sua sincera amizade e momentos passados.

À minha namorada, Tatiana Barbosa, pelo seu amor incondicional, pela confiança depositada em mim, pelas palavras, sorrisos e gestos sempre na hora certa. Por compreender e aceitar todas as minhas ausências físicas em prol desta dissertação e do percurso académico. Por fazer valer a pena.

Daniel João Macedo Pinhel

"Don't wish it was easier, wish you were better. Don't wish for less problems, wish for more skills. Don't wish for less challenge, wish for more wisdom"

Emanuel James "Jim" Rohn

Conteúdo

1 Introdução **1**
- 1.1 Enquadramento e Objetivos . . . 2
- 1.2 Estrutura da Dissertação . . . 3
- 1.3 *Software* Utilizado . . . 3
- 1.4 Manvia . . . 4
- 1.5 Parque Escolar . . . 5
- 1.6 Intervenção na EASR . . . 6

2 Contextualização Energética **7**
- 2.1 Energia . . . 7
- 2.2 Energia no Mundo . . . 8
- 2.3 Energia em Portugal . . . 11

3 Eficiência Energética, Qualidade de Energia e Manutenção **17**
- 3.1 Desenvolvimento Sustentável . . . 17
- 3.2 Eficiência Energética . . . 20
- 3.3 Qualidade de Energia Elétrica . . . 24
  - 3.3.1 Transitórios . . . 24
  - 3.3.2 Interrupções . . . 25
  - 3.3.3 Desequilíbrio de Tensões . . . 25
  - 3.3.4 Cavas de Tensão . . . 25
  - 3.3.5 Sobretensões . . . 26
  - 3.3.6 Flutuações de Tensão . . . 26
  - 3.3.7 Variação de Frequência . . . 27
  - 3.3.8 Distorção da Forma de Onda . . . 27
- 3.4 Manutenção . . . 29
  - 3.4.1 Gestão da Manutenção . . . 29
  - 3.4.2 Tipos e Objetivos da Manutenção . . . 30
  - 3.4.3 Normas . . . 31
  - 3.4.4 Plano de Manutenção . . . 31

4 Fornecimento de Energia e Sistema Tarifário **33**
- 4.1 Reestruturação e Liberalização do Setor Elétrico . . . 34
  - 4.1.1 SE em Portugal . . . 37
- 4.2 Regulamentação . . . 40
- 4.3 Sistema Tarifário . . . 41
- 4.4 Gestão da Fatura de Eletricidade . . . 44
  - 4.4.1 Tarifários . . . 44

4.4.2 Períodos Tarifários . . . 45
4.4.3 Diagrama de Carga . . . 47
4.4.4 Termo Tarifário Fixo . . . 48
4.4.5 Potência em Horas de Ponta . . . 48
4.4.6 Potência Tomada . . . 49
4.4.7 Potência Contratada . . . 49
4.4.8 Energia Ativa . . . 49
4.4.9 Energia Reativa . . . 49
4.5 Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais em MT . . . 50

5 Energia Reativa e Correção de Fator de Potência **51**
5.1 Energia Reativa . . . 51
5.2 Fator de Potência . . . 52
5.2.1 Consequências de um baixo fator de potência . . . 53
5.3 Energia Reativa Faturada . . . 55
5.3.1 Regras de Faturação de Q . . . 55
5.4 Compensação do Fator de Potência . . . 56
5.4.1 Potência de compensação e Tensão da bateria . . . 57
5.4.2 Equipamentos de compensação . . . 59
5.4.3 Métodos de Compensação . . . 59

6 Iluminação **61**
6.1 Tipos de Iluminação . . . 61
6.2 Propriedades e Grandezas Luminotécnicas . . . 62
6.2.1 Fluxo Luminoso . . . 62
6.2.2 Intensidade Luminosa . . . 63
6.2.3 Iluminância . . . 64
6.2.4 Luminância . . . 65
6.2.5 Quantidade de Luz . . . 65
6.3 Características das Lâmpadas e Coeficientes Luminotécnicos . . . 65
6.3.1 Fator de Transmissão . . . 65
6.3.2 Fator de Reflexão . . . 65
6.3.3 Fator de Absorção . . . 66
6.3.4 Fator de Depreciação . . . 66
6.3.5 Fator de Manutenção . . . 66
6.3.6 Fator de Utilização . . . 66
6.3.7 Fator de Uniformidade de Iluminância . . . 67
6.3.8 Encadeamento . . . 67
6.3.9 Rendimento Luminoso . . . 67
6.3.10 Temperatura de Cor . . . 68
6.3.11 Índice de Restituição de Cores . . . 68
6.3.12 Vida . . . 69
6.3.13 Classe de Eficácia Energética . . . 69
6.4 Tipos de Lâmpada . . . 69
6.4.1 Lâmpadas Incandescentes . . . 70
6.4.2 Lâmpadas de Descarga . . . 71
6.4.3 Lâmpadas de Indução . . . 77
6.4.4 Lâmpadas LED . . . 78
6.4.5 Comparação das Características dos Diferentes Tipos de Lâmpadas . . . 79

6.5 Luminária . . . 83
6.6 Equipamentos Auxiliares . . . 84
6.6.1 Arrancador . . . 84
6.6.2 Ignitor . . . 85
6.6.3 Condensador . . . 85
6.6.4 Balastros . . . 85
6.7 Gestão de Sistemas de Iluminação . . . 87
6.7.1 Comando de Circuitos de Iluminação . . . 87
6.7.2 Gestão de Iluminação . . . 89

7 Sistemas AVAC **95**
7.1 Classificação e Caracterização dos Sistemas AVAC . . . 95
7.2 Sistemas de Ventilação . . . 96
7.3 Equipamentos das Instalações de AVAC . . . 96
7.3.1 Compressor . . . 97
7.3.2 *Chiller* . . . 97
7.3.3 Caldeira . . . 97
7.3.4 Bomba Elétrica . . . 97
7.3.5 Bomba de calor . . . 98
7.3.6 Ventilador . . . 98
7.3.7 Condensador . . . 98
7.3.8 Evaporador . . . 98
7.3.9 UTA . . . 98
7.3.10 Válvulas . . . 99

8 Energias Renováveis - Energia Solar **101**
8.1 Sistemas de Aproveitamento de Energia Solar . . . 101
8.1.1 Sistema Solar Térmico . . . 102
8.1.2 Sistema Solar Fotovoltaico . . . 103

9 Caso de Estudo **111**
9.1 Caracterização do Caso de Estudo . . . 111
9.1.1 Caracterização da EASR . . . 111
9.2 Fatura de Energia Elétrica . . . 113
9.3 Sistema de Iluminação . . . 122
9.3.1 Especificações Técnicas . . . 122
9.3.2 Iluminação Existente . . . 124
9.3.3 Qualidade de Iluminação Atual . . . 125
9.3.4 Solução 1: LED . . . 126
9.3.5 Solução 2: Combinada . . . 146
9.3.6 Solução 3: Redução de Potência . . . 148
9.3.7 Análise Económica . . . 148
9.3.8 Estudo de Implementação de Sistemas de Gestão por Deteção Automática 157
9.4 Sistema Fotovoltaico . . . 158
9.4.1 Localização e Avaliação do Recurso Solar . . . 159
9.4.2 Configuração do Sistema FV . . . 161
9.4.3 Dimensionamento DC . . . 166
9.4.4 Dimensionamento AC . . . 169
9.4.5 Análise Económica . . . 177

9.5 Sistemas AVAC . . . 183
9.5.1 Caraterização do Sistema Atual . . . 183
9.5.2 Melhoria da Eficiência do sistema . . . 188
9.6 Análise da Qualidade de Energia . . . 189
9.6.1 Tensão nas Fases . . . 189
9.6.2 Frequência . . . 190
9.6.3 Equilíbrio Trifásico das Correntes . . . 191
9.6.4 Harmónicos de Tensão e Taxa de Distorção Harmónica de Tensão . . . 193
9.6.5 Harmónicos de Corrente e Taxa de Distorção Harmónica de Corrente . . . 196
9.6.6 Fator de Potência . . . 200

10 Conclusão **203**
10.1 Conjunto de Medidas de Eficiência Energética . . . 205
10.2 Trabalhos Futuros . . . 206

A Constituição da EASR **207**
A.1 Bloco A . . . 207
A.2 Bloco B . . . 212
A.3 Bloco C . . . 215
A.4 Bloco D . . . 216

B Anexo B **217**
B.1 Cálculo de Tarifários . . . 219
B.1.1 EDP SU . . . 219
B.1.2 Tarifário Atual . . . 222

C Sistema de Iluminação **223**
C.1 Luxímetro . . . 226
C.2 Luminárias . . . 228

D Sistema FV **235**
D.1 Painel FV . . . 236
D.2 Inversor . . . 238

E Qualidade de Energia **241**
E.1 Analisador de Rede . . . 242
E.2 Filtro de Harmónicos . . . 251
E.3 Bateria de Condensadores . . . 252

Referências **253**

Lista de Figuras

1.1 Ampliação da Escola (colorido) [1] 6

2.1 Evolução da população mundial [2] 8
2.2 Projeção para 2035 do consumo de energia primária por zona no globo [3] 9
2.3 Consumo por fonte de energia (esquerda) e respetivas percentagens (direita) [3] . 9
2.4 Consumo de energia por setor de atividade. 10
2.5 Evolução das emissões de GEE [4] 11
2.6 Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal em toneladas equivalentes de petróleo (tep) [5] 11
2.7 Produção de eletricidade por fonte em Portugal [6] 12
2.8 Dependência Energética Portuguesa com previsão para 2020 e 2030 [7] 12
2.9 Produção de eletricidade por PRE Renovável em Portugal [8] 13
2.10 Evolução da Intensidade Energética em Portugal [5] 13
2.11 Metas para a UE e Portugal em 2020 [9] 14

3.1 Dimensões do Desenvolvimento Sustentável 18
3.2 Relação entre emissões de GEE e estratégias de Desenvolvimento Sustentável [10] 19
3.3 Cenário de evolução de procura com e sem medidas de eficiência [11] 20
3.4 Setores, subsetores e utilizações finais da abordagem aos indicadores de eficiência energética [12] 20

4.1 Quotas de mercado por comercializador em termos de consumos e clientes. . . . 35
4.2 Novo modelo do SE. 36
4.3 Circuito da Energia elétrica e trajeto dinheiro e informação [13] 37
4.4 Estrutura do SEN em 1995 [14] 38
4.5 Nova estrutura do SEN [14]. 40
4.6 Cadeia de Valor do SEN. 42
4.7 Tarifa de Venda a clientes Finais – Estrutura Tarifaria do MR [15]. 43
4.8 Tarifa de Venda do Comercializador de Mercado – Estrutura Tarifária do ML [15]. 44
4.9 Diagrama de Cargas típico com exemplo de atividades de consumo [10]. 47

5.1 Triângulo das Potências 52
5.2 Princípio da Compensação do Fator de Potência 57
5.3 Diagrama Vetorial da compensação do fator de potência 58

6.1 Representação dos tipos de iluminação artificial: geral (esquerda), localizada (centro) e 2C (direita). 62
6.2 Diagrama Polar Fotométrico de I de uma lâmpada [16]. 63
6.3 Representação da Iluminância. 64

6.4 Lâmpada Incandescente de filamento [17] . . . 70
6.5 Lâmpada Incandescente de halogéneo [18] . . . 71
6.6 Exemplo de Lâmpada Fluorescente (T5) [19] . . . 72
6.7 Exemplo de Lâmpada Fluorescente Compacta [20] . . . 73
6.8 Exemplo de Lâmpada vapor de sódio de baixa pressão [21] . . . 74
6.9 Exemplo de Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão [22] . . . 74
6.10 Exemplo de Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão [23] . . . 75
6.11 Exemplo de Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Iodetos [24] . . . 75
6.12 Exemplo de Lâmpada de Luz Mista [21] . . . 76
6.13 Lâmpada de indução fluorescentes de alta potência (esquerda) e Lâmpadas de descarga em gás de baixa pressão por indução (direita) [25] . . . 77
6.14 Exemplo de lâmpadas LED . . . 79
6.15 Gráfico comparativo do rendimento luminoso das lâmpadas . . . 81
6.16 Gráfico comparativo do tempo médio de vida das lâmpadas . . . 81
6.17 Gráfico comparativo da temperatura de cor das lâmpadas . . . 82
6.18 Gráfico comparativo da restituição cromática das lâmpadas . . . 82
6.19 Arquitetura da gestão centralizada de iluminação [26] . . . 93
6.20 Poupança obtida através da utilização dos diferentes tipos de balastros em associação a outros dispositivos [27] . . . 94

9.1 Consumo de energia ativa por mês e por período horário . . . 114
9.2 Quantidade total de lâmpadas T5 na EASR . . . 124
9.3 Distribuição das diferentes lâmpadas por tipo de utilização do espaço . . . 125
9.4 Curvas isográficas do espaço tipo refeitório . . . 127
9.5 Curvas isográficas do espaço tipo ginásio . . . 128
9.6 curvas isográficas do espaço tipo balneário . . . 129
9.7 curvas isográficas do espaço tipo I.S. . . . 130
9.8 Curvas isográficas do espaço tipo circulações . . . 130
9.9 Curvas isográficas do espaço tipo biblioteca . . . 131
9.10 Curvas isográficas do espaço tipo secretaria . . . 132
9.11 Curvas isográficas do espaço tipo Loja . . . 133
9.12 Curvas isográficas do espaço tipo sala de trabalho de DT . . . 134
9.13 Curvas isográficas do espaço tipo sala de projeto tipo 1 . . . 135
9.14 Curvas isográficas do espaço tipo sala de projeto tipo 2 . . . 135
9.15 Curvas isográficas do espaço tipo sala de aula tipo 1 . . . 136
9.16 Curvas isográficas do espaço tipo sala de aula tipo 2 . . . 137
9.17 Curvas isográficas do espaço tipo sala de desenho com cavaletes . . . 138
9.18 Curvas isográficas do espaço tipo sala de desenho com estiradores . . . 138
9.19 Curvas isográficas do espaço tipo sala de geometria . . . 139
9.20 Curvas isográficas do espaço tipo oficina tipo 1 . . . 140
9.21 Curvas isográficas do espaço tipo oficina tipo 2 . . . 141
9.22 curvas isográficas do espaço tipo laboratórios . . . 141
9.23 Curvas isográficas do espaço tipo laboratório de informática . . . 142
9.24 Curvas isográficas do espaço tipo gabinetes administrativos . . . 143
9.25 Curvas isográficas do espaço tipo gabinetes de atividades . . . 143
9.26 Curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 1 . . . 144
9.27 Curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 2 . . . 145
9.28 curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 3 . . . 145
9.29 Imagem do local de instalação e da EASR . . . 159

9.30 Inclinação ótima mensal dos painéis . . . 159
9.31 Temperatura média diária, por mês . . . 160
9.32 Irradiação Solar (0° vs 35°) . . . 160
9.33 Altura máxima e mínima do sol com representação da linha do horizonte . . . 161
9.34 Distância de sombreamento . . . 163
9.35 Representação do Sistema FV proposto para a EASR . . . 165
9.36 Dimensionamento dos Inversores . . . 165
9.37 Dimensionamento dos Cabos DC no Sunny-Design 3 . . . 168
9.38 Dimensionamento dos cabos LV1 (AC) no Sunny Design 3 . . . 172
9.39 Dimensionamento dos Cabos LV2 (AC) no Sunny-Design 3 . . . 172
9.40 Resultados finais do projeto UPAC da EASR . . . 178
9.41 Determinação do Autoconsumo . . . 179
9.42 Redução do consumo anual de energia segundo a hora do dia . . . 179
9.43 Comparação dos custos anuais de eletricidade com e sem UPAC . . . 180
9.44 Tempo de retorno e poupança efetiva ao fim de 25 anos da UPAC . . . 180
9.45 Tempo de retorno e poupança efetiva ao fim de 25 anos da UPP . . . 182
9.46 Equipamentos AVAC instalados (secador, compressor, depósito de inercia, etc.) . . . 184
9.47 Equipamentos AVAC instalados (caldeiras e bombas circuladoras) . . . 184
9.48 Equipamentos AVAC instalados (chiller e UTA) . . . 185
9.49 Caldeiras da EASR . . . 185
9.50 Ventilador da EASR . . . 186
9.51 Unidade SPLIT da EASR . . . 186
9.52 UTA da EASR . . . 187
9.53 Chiller da EASR . . . 187
9.54 Tensão nas fases no QGBT . . . 189
9.55 Tensão nas fases no quadro de AVAC . . . 190
9.56 Frequência no QGBT . . . 191
9.57 Frequência no quadro de AVAC . . . 191
9.58 Corrente nas fases no QGBT . . . 192
9.59 Corrente do neutro no QGBT . . . 192
9.60 Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 1 . . . 193
9.61 Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 2 . . . 194
9.62 Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 3 . . . 194
9.63 Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 1 . . . 195
9.64 Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 2 . . . 195
9.65 Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 3 . . . 195
9.66 THD de tensão no QGBT . . . 196
9.67 THD de tensão no quadro de AVAC . . . 196
9.68 Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 1 . . . 198
9.69 Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 2 . . . 198
9.70 Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 3 . . . 199
9.71 THD de Corrente no QGBT . . . 199
9.72 Fator de potência da instalação . . . 200
9.73 Tangente de φ da instalação . . . 201

C.1 Tabela do nível de iluminação nos espaços das Escolas - Parte 1 . . . 224
C.2 Tabela do nível de iluminação nos espaços das Escolas - Parte 2 . . . 225
C.3 Certificado de Calibração do Luxímetro - pagina 1 . . . 226
C.4 Certificado de Calibração do Luxímetro - pagina 2 . . . 227

C.5 Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Surface-mounted* 43W da O/M 228
C.6 Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Surface-mounted* 58W da O/M 229
C.7 Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Pendant* 43W da O/M 230
C.8 Ficha Técnica da Luminária U60 *Recessed* 43W da O/M 231
C.9 Ficha Técnica da Luminária TPHLN 35W da EEE - pagina 1 232
C.10 Ficha Técnica da Luminária TPHLN 35W da EEE - pagina 2 233

D.1 Ficha Técnica do Painel FV MPRIME - pagina 1 236
D.2 Ficha Técnica do Painel FV - MPRIME - pagina 2 237
D.3 Ficha Técnica do Inversor SMA - pagina 1 238
D.4 Ficha Técnica do Inversor SMA - pagina 2 239

E.1 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 1 242
E.2 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 2 243
E.3 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 3 244
E.4 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 4 245
E.5 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 5 246
E.6 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 6 247
E.7 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 7 248
E.8 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 8 249
E.9 Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 9 250
E.10 Ficha Técnica do Filtro de Harmónicos ECOsine Active 251
E.11 Ficha Técnica da Bateria de Condensadores - Norcontrol RAM 60/55 252

Lista de Tabelas

2.1 Objetivos assumidos por Portugal e seu cumprimento [28] 15

4.1 Consumo por segmento presente no mercado livre. 35
4.2 Níveis de Tensão considerados na Faturação de eletricidade [10] 45
4.3 Ciclo Semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental [29] 46
4.4 Ciclo Semanal Opcional para consumidores e MT, AT e MAT em Portugal Continental [29] 47

5.1 Aumento da secção do condutor em função do fator de potência 54
5.2 Potência útil máxima absorvida pelo transformador (para exemplo de 630 kVA) consoante o fator de potência 54
5.3 Escalões de Faturação de Q indutiva 56

6.1 Classificação de *Tc*. 68
6.2 Classificação do *Ra* em função do tipo de utilização [10] 68
6.3 Classes de *Ra* [26] 68
6.4 Valores por características das lâmpadas Incandescentes 71
6.5 Valores por características das lâmpadas de descarga de baixa pressão 76
6.6 Valores por características das lâmpadas de descarga de alta pressão 76
6.7 Valores por características das lâmpadas de indução 78
6.8 Valores por características das lâmpadas LED 79
6.9 Quadro Resumo dos diferentes tipos de Lâmpada 80
6.10 Síntese dos valores por característica de todos os tipos de lâmpada 80
6.11 Classe de Eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas 83

7.1 Classificação dos sistemas AVAC 95

9.1 Energia Ativa faturada na EASR 113
9.2 Valores do Tarifário atual da EASR (EDP Comercial) 115
9.3 Valores dos Tarifários da EDP SU 116
9.4 Valores unitários (€/kWh) da empresa Gás Natural Fenosa 116
9.5 Tarifário da comercializadora Gás Natural Fenosa 117
9.6 Valores unitários (€/kWh) da empresa Hen 117
9.7 Tarifário da comercializadora Hen 117
9.8 Valores unitários (€/kWh) da empresa LUZBOA 118
9.9 Tarifário da comercializadora LUZBOA 118
9.10 Valores unitários (€/kWh) da empresa Energia Simples 119
9.11 Tarifário da comercializadora Energia Simples 119
9.12 Valores unitários (€/kWh) da empresa Galp 119

9.13 Tarifário da comercializadora Galp . . . 120
9.14 Valores unitários (€/kWh) da empresa Logica Energy . . . 120
9.15 Tarifário da comercializadora Logica Energy . . . 121
9.16 Comparação das Tarifas anuais das diversas empresas em estudo . . . 121
9.17 Luminárias por área de utilização na EASR . . . 124
9.18 Espaço Tipo definidos para o estudo luminotécnico . . . 126
9.19 Parâmetros obtidos no DIALux para o Refeitório . . . 127
9.20 Parâmetros obtidos no DIALux para o Ginásio . . . 128
9.21 Parâmetros obtidos no DIALux para o Balneário . . . 128
9.22 Parâmetros obtidos no DIALux para as I.S. . . . 129
9.23 Parâmetros obtidos no DIALux para os corredores de circulação. . . . 130
9.24 Parâmetros obtidos no DIALux para a biblioteca. . . . 131
9.25 Parâmetros obtidos no DIALux para a Secretaria. . . . 132
9.26 Parâmetros obtidos no DIALux para a Loja. . . . 132
9.27 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de trabalho de DT. . . . 133
9.28 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de projeto tipo 1 . . . 134
9.29 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de projeto tipo 2 . . . 135
9.30 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de aula tipo 1 . . . 136
9.31 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de aula tipo 2 . . . 137
9.32 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de desenho com cavaletes . . . 137
9.33 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de desenho com estiradores . . . 138
9.34 Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de geometria . . . 139
9.35 Parâmetros obtidos no DIALux para oficina tipo 1 . . . 140
9.36 Parâmetros obtidos no DIALux para oficina tipo 2 . . . 140
9.37 Parâmetros obtidos no DIALux para os laboratórios . . . 141
9.38 Parâmetros obtidos no DIALux para o laboratório de informática . . . 142
9.39 Parâmetros obtidos no DIALux para os gabinetes administrativos . . . 142
9.40 Parâmetros obtidos no DIALux para os gabinetes de atividades . . . 143
9.41 Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 1 . . . 144
9.42 Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 2 . . . 144
9.43 Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 3 . . . 145
9.44 Redução de Potência com implementação da solução LED . . . 146
9.45 Correspondência entre lumens e potência das lâmpadas . . . 147
9.46 Espaços tipo propostos para redução de potência . . . 147
9.47 Proposta de Redução de Potência e níveis de iluminação obtidos . . . 147
9.48 Espaços tipo propostos para alteração para LED . . . 148
9.49 Número de horas de utilização de cada espaço tipo . . . 149
9.50 Consumo e Custo Anual de cada espaço para o sistema atual de iluminação - Solução 1 . . . 150
9.51 Consumo e Custo Anual de cada espaço - Solução 1 . . . 151
9.52 Custo de aquisição das luminárias LED . . . 151
9.53 Poupança Anual, Investimento e Retorno para cada espaço tipo – Solução 1 . . . 152
9.54 Análise economica global da solução 1 . . . 153
9.55 Consumo e Custo Anual Atuais de cada espaço – Solução 2 . . . 154
9.56 Consumo e Custo Anual da Solução de cada espaço – Solução 2 . . . 154
9.57 Poupança Anual, Investimento e Retorno para cada espaço tipo – Solução 2 . . . 155
9.58 Análise economica global da solução 2 . . . 155
9.59 Análise economica global da solução 3 . . . 156

9.60 Comparação entre as diferentes soluções de iluminação . . . 156
9.61 Análise económica da implementação de sensores CIRCUMAT PRO CR sem redução de potência . . . 158
9.62 Análise económica da implementação de sensores CIRCUMAT PRO CR com redução de potência . . . 158
9.63 Características do Painel MPRIME G Séries GENIUS 4BB . . . 161
9.64 Características do Cabo DC [30] . . . 166
9.65 Cabos DC a dimensionar . . . 167
9.66 Cabos AC . . . 169
9.67 Dimensionamento dos cabos AC - Parte 1 . . . 172
9.68 Dimensionamento dos cabos AC - Parte 2 . . . 173
9.69 Dados para o Dimensionamento dos Disjuntores . . . 176
9.70 Resultados do dimensionamento dos Disjuntores - correntes . . . 176
9.71 Resultados do dimensionamento dos Disjuntores - tempos . . . 176
9.72 Mapa de Quantidades e Orçamento do Projeto FV da EASR . . . 178
9.73 Comparação entre UPAC e UPP . . . 182
9.74 *Setpoints* e horas de funcionamento dos equipamentos da EASR . . . 188
9.75 Valores das tensões harmónicas nos pontos de entrega [31] . . . 193
9.76 Limite das correntes harmónicas e da distorção harmónica [32] . . . 197

10.1 Áreas de Intervenção e respetivas medidas propostas . . . 205
10.2 Investimento, Poupança e Retorno de cada medida proposta . . . 205

A.1 Bloco A, Piso -1 . . . 207
A.2 Bloco A, Piso 0 . . . 208
A.3 Bloco A, Piso 1 . . . 209
A.4 Bloco A, Piso 2 . . . 210
A.5 Bloco A, Piso 3 . . . 211
A.6 Bloco B, Piso 0 . . . 212
A.7 Bloco B, Piso 1 . . . 213
A.8 Bloco B, Piso 2 . . . 214
A.9 Bloco C, Piso -1 . . . 215
A.10 Bloco C, Piso 0 . . . 215
A.11 Bloco C, Piso 1 . . . 215
A.12 Bloco D, Piso 0 . . . 216
A.13 Bloco D, Piso 1 . . . 216
A.14 Bloco D, Piso 2 . . . 216

B.1 Tarifa Transitória de Venda a Clientes Finais em 2017 [63] . . . 218
B.2 Tarifa de Curtas Utilizações . . . 219
B.3 Tarifa de Médias Utilizações . . . 220
B.4 Tarifa de Longas Utilizações . . . 221
B.5 Tarifa atual da EASR . . . 222

Abreviaturas e Símbolos

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Aquecimento de Águas Sanitárias
AT	Alta Tensão
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
C	Período de Cheia
cc	Curto-circuito
CIE	Consumidoras Intensivas de Energia
CO_2	Dióxido de Carbono
CUR	Comercializador de Último Recurso
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EASR	Escola Artística Soares dos Reis
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	Fontes de Energia Renovável
FV	Fora do Vazio
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases com efeito de estufa
GTC	Gestão Técnica Centralizada
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
MAT	Muito Alta Tensão
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
ML	Mercado Liberalizado
MT	Média Tensão
P	Período de Ponta
PEX	Polietileno Reticulado
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PPEC	Plano de Promoção de Eficiência no Consumo
PRE	Produção em Regime Especial
PRO	Produção em Regime Ordinário
Q	Energia Reativa
QE	Quadro Elétrico
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RD	Rede de Distribuição
RT	Rede de Transporte
S	Potência Aparente
SCE	Sistemas de Certificação Energética

SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SGI	Sistema de Gestão Integrado
SI	Sistema Internacional
SV	Super Vazio
THD	*Total Harmonic Distortion*
UE	União Europeia
UPAC	Unidade de Produção em Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Produção
V	Vazio
VN	Vazio Normal
A	Ampere
cd	Candela
cos φ	Fator de potencia
ΔU	Queda de tensão
E	Luminância
I	Corrente
I_B	Corrente de serviço
I_{cc}	Corrente de curto-circuito
I_2	Corrente convencional de funcionamento
I_{mpp}	Corrente em mpp
I_N	Corrente estipulada (calibre)
IRC	Índice de restituição de cores
I_Z	Máxima corrente admissível
K_θ	Coeficiente de correção da resistência com a temperatura
P	Potencia ativa
R	Resistência
Ra	Restituição cromática
S_{cc}	Potência de cc
Tc	Temperatura de cor
U	Tensão
V	Volt
V_{CA}	Tensão em circuito aberto
V_{ef}	Tensão eficaz
V_{mpp}	Tensão mpp
w	Ângulo sólido
X	Reactância
Z	Impedância
Z_{eq}	Impedância Equivalente
α	Azimute do painel
α_s	Azimute solar
β	Inclinação do painel
γ_s	Elevação solar
δ	Declinação
η	rendimento
Ω	Ohm

Capítulo 1

Introdução

Nos dias que correm, a energia elétrica é um recurso essencial, que vem a ser explorado exaustivamente, visto que, o consumo de energia elétrica tem vindo a aumentar mundialmente. Por conseguinte, os recursos mais utilizados para produzir a energia necessária (recursos naturais fósseis, como o carvão, gás natural e petróleo) sofrem pressões enormes e, sendo finitos e com tempo de restituição muito alargado, correm o risco de se esgotar. Urge, assim, a racionalização dos consumos energéticos, investindo em novos paradigmas de utilização de energia e fontes alternativas de energia como as renováveis.

O conceito de eficiência energética tem ganho cada vez mais relevo, com os diversos países a assumirem responsabilidades no desenvolvimento de políticas que a potenciem. Esta é uma matéria que exige coordenação entre os diferentes países. Exemplo disso, é a Meta-20-20-20, definida pelo Concelho Europeu para os estados-membro, que estabelece a redução de 20% na emissão de gases de efeito de estufa (GEE) e do consumo de energia e um aumento de 20% de fontes renováveis na satisfação desse consumo. A eficiência energética é muito abrangente, englobando diversos setores de atuação, como a indústria, transportes, serviços e setor doméstico. Para que as medidas de eficiência energética específicas sejam efetivas, é fundamental que se coordenem as várias áreas no sentido de otimizar o consumo energético.

O crescimento populacional mundial ajuda a explicar o aumento do consumo, aliado ao desenvolvimento tecnológico. Com este facto, salienta-se a importância de estabelecer uma elevada eficiência energética nos pontos de atividade socioeconómica como os grandes centros urbanos, onde se encontram edifícios com elevadas necessidades energéticas, como habitações, hospitais, empresas e escolas.

A aplicação das medidas de eficiência energética e o investimento em fontes de energia renovável, por parte de Portugal, contribuirá para aumentar a sua independência energética, aumentando a sua competitividade, para além dos benefícios para o meio ambiente e qualidade de vida. Cada vez mais, importa atingir um desenvolvimento sustentável.

1.1 Enquadramento e Objetivos

A dissertação aqui apresentada visa o estudo da eficiência energética na Escola Artística Soares dos Reis (EASR), no Porto. Procura-se conhecer as condições técnicas e de utilização de energia do edifício em causa e, analisando diversos aspetos fundamentais na área da eficiência energética, propor medidas que permitam otimizar o consumo e utilização da energia. Para cada medida, importa estudar os aspetos económicos inerentes, de modo a avaliar o retorno do investimento com a sua implementação. Os custos desta deverão traduzir-se em poupança energética, que os justifiquem. Relativamente aos aspetos a analisar na Escola em estudo, podemos observar um conjunto base de objetivos:

- Análise das faturas energéticas do ano letivo 2017/2018 (ou dos últimos 12 meses) tendo em vista o estudo do tarifário de eletricidade da escola, comparando o fornecedor atual com diversos outros comercializadores de energia e verificando qual o mais económico;
- Inventário e caracterização do sistema de iluminação do edifício, estudando os níveis de iluminância média para cada espaço tipo da escola com recurso ao software Dialux, comparando-os com os medidos nas instalações através de um luxímetro, e, se necessário, propor alterações que permitam ajustar esses níveis aos especificados pela Parque Escolar. Alterações essas, que, respeitando as especificações da Parque Escolar, devem visar também a redução do consumo de energia;
- Levantamento e caracterização dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) das instalações, analisando a sua eficiência otimização do funcionamento;
- Estudo do sistema fotovoltaico instalados na escola, verificando a possibilidade de aumento e/ou manutenção dos mesmos, visando uma maior independência energética;
- Análise da qualidade de energia da escola utilizando um analisador de rede;
- Estudo do fator de potência e compensação de energia reativa (Q);
- Proposta de medidas que permitam maximizar a eficiência energética;

1.2 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 12 capítulos. O presente Capítulo 1, trata da introdução ao projeto, esclarecendo os seus objetivos e realizando o seu enquadramento. Incide, ainda, sobre o software utilizado nas diferentes fases do projeto, e na contextualização da empresa onde o mesmo se desenvolveu, bem como do local onde se realizou o caso de estudo.

No Capítulo 2 realiza-se uma contextualização energética mundial e nacional, aludindo primeiramente ao conceito de energia.

O Capítulo 3 aborda o conceito de eficiência energética, incidindo sobre o tema do desenvolvimento sustentável e as medidas e planos de eficiência energética aplicados em Portugal. Aborda ainda a qualidade de energia e a manutenção, áreas muito caras para a eficiência energética, contribuindo para potenciar o bom funcionamento dos diversos sistemas e o seu tempo de vida útil.

O Capítulo 4 incide sobre o fornecimento de energia e o sistema tarifário, esclarecendo a organização do setor elétrico em Portugal e a sua reestruturação. São apresentadas as tarifas a aplicar aos clientes, bem como as considerações para as determinar e a constituição de uma fatura de energia.

No Capítulo 5 apresenta-se o conceito de energia reativa e de fator de potência. Discute-se as causas e consequências da energia reativa e as vantagens da correção do fator de potência.

O Capítulo 6 analisa a área da Iluminação, esclarecendo conceitos e grandezas luminotécnica, bem como as diferentes tecnologias de lâmpadas, realizando uma comparação entre elas, relativamente às suas caraterísticas. São ainda explorados os diferentes sistemas de gestão de iluminação.

No Capítulo 7 surge o estudo sobre os sistemas AVAC e seus constituintes.

O Capítulo 8 é dedicado aos sistemas de aproveitamento de energia renovável, centrando-se nos sistemas fotovoltaicos e eólicos.

O Capítulo 9 é dedicado ao Caso de Estudo, onde se realiza a caracterização das instalações da EASR e se apresentam os estudos realizados para a melhoria da eficiência energética da escola. Os resultados obtidos são analisados e as soluções são propostas.

No Capítulo 10 são retiradas as devidas conclusões sobre o projeto elaborado e as medidas a implementar. São ainda, apresentadas propostas para realização de trabalho futuro.

Por fim, são apresentados os Anexos e as Referências. Os Anexos contam com elementos que complementam a informação apresentada no documento, possibilitando a sua melhor compreensão.

1.3 *Software* Utilizado

Para a realização das diferentes fases desta dissertação recorreu-se a diversas ferramentas que auxiliaram na análise e obtenção de resultados. Isto possibilitou, depois, retirar conclusões e propor as alterações adequadas ao objetivo final.

Ferramentas utilizadas:

1. *AutoCad*: visualização das plantas do edifício com os diferentes projetos;
2. *Excel*: cálculos auxiliares, dimensionamento, obtenção de gráficos, entre outros;
3. *DIALux*: estudo luminotécnico;
4. *SunnyDesign* 3: projeto fotovoltaico;
5. *PVGIS*: avaliação do Recurso Solar;
6. *TopView*: análise/Recolha de dados HT.

1.4 Manvia

A Manvia (Manutenção e Exploração de Instalações e Construção, SA), empresa que atua no ramo da manutenção, iniciou a sua atividade em 1998 em Portugal. Já no ano 2000, integrou o Grupo Mota-Engil, reposicionando-se no mercado. Em 2005 a empresa passou a constituir uma sociedade anónima[33]. Possui como missão gerar valor na prestação de serviços no âmbito da manutenção, libertando os clientes para o seu negócio, sempre com o intuito de ser uma referência nos mercados onde está inserida [34].

Hoje em dia a Manvia conta com mais de 600 especialistas em variadas áreas de negócio na manutenção, conquistando o seu espaço e reputação em Portugal e no Estrangeiro ao longo da sua existência [33]. Esta notoriedade é conseguida através do dinamismo e inovação da empresa que conta um Sistema de Gestão Integrado (SGI) e um sistema de gestão da manutenção [35].

A organização da empresa é fundamental para a consolidação nos mercados onde marca presença, fidelizando clientes. A equipa que constitui a Manvia é dedicada, experiente e pró-ativa na demanda de soluções para as reais necessidades dos clientes [34].

Atualmente, o desafio da internacionalização é encarado como uma oportunidade de acrescentar valor, sendo cada vez mais uma realidade presente e futura da empresa. A Manvia marca presença em 14 países, entre África e Europa.

As diferentes áreas de negócio em que a Manvia se desmultiplica são: Gestão, Edifícios, Indústria, Saúde, Eficiência Energética, Ambiente, Parques Eólicos e Analisadores [36].

Destacam-se alguns dos contratos mais proeminentes, como a Metro e a Casa da Musica, ambos na cidade do Porto, e o Meo Arena em Lisboa. Estabeleceu-se também parcerias com o Banco Popular, a Ascendi e os CTT – Correios de Portugal. Para esta dissertação importa referir o contrato com a Parque escolar, empresa envolvida no processo de elaboração deste estudo, também ele significativo para a empresa.

1.5 Parque Escolar

Criada em 2007, a Parque Escolar, enquanto entidade pública empresarial (E.P.E.), tem como missão o planeamento, gestão, desenvolvimento e execução do programa de modernização da rede pública de escolas secundárias. Para tal, a solução que se considerou mais indicada para cumprir esses objetivos, foi a criação de uma entidade de direito público de natureza empresarial, possuindo personalidade jurídica, autonomia administrativa, financeira e patrimonial.

O Programa de Modernização do Parque Escolar destinado ao Ensino Secundário (PMEES), procura requalificar e modernizar os edifícios das escolas com ensino Secundário, como já referido, para que se forneçam condições para a implementação de um ensino adaptado aos conteúdos programáticos, às pedagogias e novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), ao mesmo tempo que abre a Escola à comunidade, aproveitando na integra as potencialidades da infraestrutura escolar instalada. Simultaneamente, procura a otimização desses recursos, garantindo a correta gestão e manutenção dos edifícios posteriormente à intervenção [37] [38].

O PMEES segue um modelo de edifício escolar que se adequa ao projeto educativo de cada escola, que deve garantir a que a intervenção seja sustentável e durável, tendo sempre em conta possíveis alterações e reestruturações do espaço, indo ao encontro das diferentes estratégias educativas, e o próprio desgaste natural motivado pela utilização. O modelo tem por base três princípios:

- Articulação dos vários setores funcionais (áreas letivas e não letivas);
- Garantia de condições para o funcionamento integrado dessas áreas;
- Possibilidade de abertura de alguns setores à utilização pela comunidade exterior em períodos pós-letivos.

O modelo de reorganização espacial implementado visa a resposta aos requisitos referidos, partindo do conceito de *learning street* introduzido por Herman Hertzberg na década de 1960 na Escola Montessori, Delft. Com os princípios de intervenção e modelo conceptual clarificados, foram redigidos documentos técnicos para os disseminar junto das equipas projetistas, e mesmo do público. Estes Manuais de Projeto debruçam-se sobre questões importantes como a Arquitetura, Instalações Técnicas, Arquitetura Paisagística e Acessibilidades [39].

Assegurando serviços de Conservação, Manutenção e Apoio à Exploração (CMAE), a Parque Escolar, mantém as infraestruturas e equipamentos em condições de segurança e qualidade permanente, minimizando o custo total durante o seu ciclo de vida. Cada escola deverá contar com um gestor de contrato e equipas técnicas polivalentes, disponíveis para intervir em caso de necessidade de manutenção. Para além disso os contratos para CMAE contam com a existência de um Técnico Polivalente Residente em permanência na escola, bem como, equipas de piquete, operacionais 24h por dia em caso de intervenções de manutenção não planeada. [40]

Atualmente, o parque escolar reservado ao ensino secundário público integra 477 escolas [41]. Até o ano de 2016 foram intervencionadas 167 escolas [40].

Como é natural, as escolas acarretam elevadas necessidades energéticas, que aumentaram com a intervenção da Parque Escolar, com o consequente aumento dos custos inerentes ao funcionamento das infraestruturas. Sendo assim é pertinente o estudo de medidas de eficiência energética que permitam a otimização do consumo energético, mantendo os níveis exigidos de qualidade de energia e de ar interior, bem como conforto térmico e luminosidade, entre outros aspetos. Isso pode ser conseguido através da otimização das soluções de projeto e captação de energias renováveis, contribuindo para a autossuficiência energética das escolas [42].

1.6 Intervenção na EASR

A EASR, criada em 1884, possuía a designação inicial de Escola de Desenho Industrial de Faria Guimarães do Bonfim. As artes visuais são a sua diretiva de ensino.

O projeto de modernização da EASR constitui um dos projetos piloto do PMEES, implicando a sua passagem para as instalações da Escola Secundária Oliveira Martins, desativada anteriormente, implicando uma adaptação do edifício existente, com demolições parciais e ampliação. O edifício original, situado na freguesia do Bonfim, possuía apenas dois corpos independentes, conectados por uma galeria exterior coberta, que funcionava como recreio complementar aos espaços exteriores. O corpo principal era destinado a aulas e serviços administrativos, sendo o outro afeto ao refeitório e ginásio/salão de festas. Foram construídos dois novos blocos, articulados por uma galeria de distribuição, que liga toda a estrutura escolar. Assim, torna-se possível abrir certos espaços ao público, fora do período normal de funcionamento, tais como: sala polivalente, refeitório, infraestruturas desportivas, biblioteca, etc. Foi, ainda, construído um complemento ao corpo principal, funcionando como entrada exterior coberta [43].

A intervenção teve em conta as definições programáticas definidas pela EASR [1].

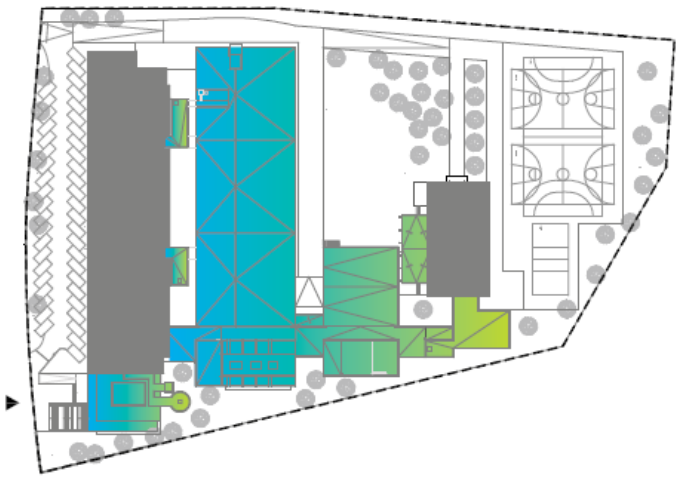


Figura 1.1: Ampliação da Escola (colorido) [1]

Capítulo 2

Contextualização Energética

Neste capítulo é abordado o conceito de Energia, bem como, o panorama energético mundial e nacional.

2.1 Energia

No universo, todos os elementos configuram uma certa forma de energia, assumindo esta diferentes dimensões. O ser humano depende da energia para a sua subsistência e conforto, com permutas constantes com o meio ambiente, coletando energia de diversas fontes [44].

Nos últimos tempos têm surgido diversas soluções, apresentadas por empresas do setor Automação de Sistemas para a disponibilização de sistemas *SCADA/DMS* na *Web*.

Pode-se afirmar que existem três diferentes tipos de energia:

- Térmica;
- Química;
- Elétrica;

Relativamente às fontes de energia, o leque é mais vasto, sempre profundamente relacionados com um ou mais tipos de energia:

- Geotérmica;
- Hidráulica;
- Álcool;
- Solar;
- Eólica;
- Outras fontes alternativas.

A energia térmica é muito utilizada para aquecimento e produção de eletricidade. Por seu lado, a energia química marca presença em muitos aparelhos e máquinas que o ser humano utiliza, sendo também muito importante para o seu conforto e vivência. A energia elétrica, é a que assume uma maior presença na realidade sócio-económica, estando disseminada em, praticamente, todos os locais de atividade humana. Assumindo-se cada vez mais como uma necessidade básica, é um fator fulcral para o desenvolvimento económico e global [45].

2.2 Energia no Mundo

Atualmente verifica-se um elevado crescimento demográfico mundial. O número estimado para a população mundial em 2017 é de 7,6 mil milhões [46].

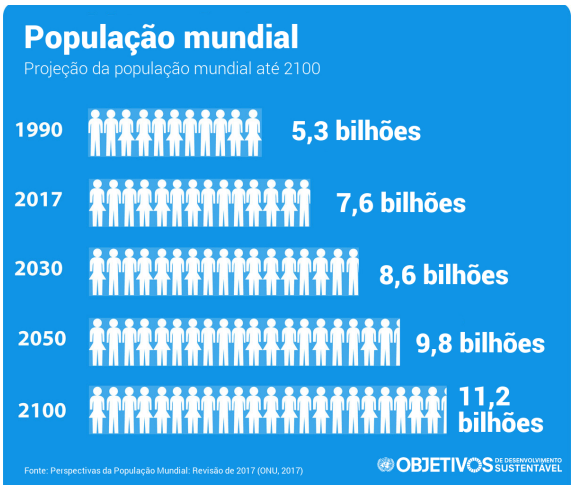


Figura 2.1: Evolução da população mundial [2]

Cerca de 59,7% da população encontra-se no continente asiático, enquanto que África alberga 16,6% da população total. A Europa conta com 9,8%, enquanto a América Latina e Caraíbas possui 8,6%. Na América do Norte habitam 4,8% e na Oceânia, 0,5% do total [46].

Não é esperada uma inversão da tendência de aumento demográfico, sendo que a Organização das Nações Unidas (ONU) projeta que em 2050 a população mundial venha a constituir 9,8 mil milhões de habitantes e 11,2 mil milhões em 2100 como se pode observar nas figuras 2.1 e **??** [46] [47].

O acentuado crescimento demográfico tem grande implicação no panorama energético mundial, com impacto nos recursos naturais e estrutura social, uma vez que implica uma crescente procura de recursos como comida, água, infraestruturas e energia [48]. Simultaneamente, verifica-se um grande desenvolvimento da economia, surgindo globalmente diversas políticas de desenvolvimento económico com vista a aumentar a qualidade de vida das populações e a riqueza. Este crescimento, aliado ao aumento da população, são os grandes responsáveis pelo grande aumento do consumo energético verificado no mundo.

Naturalmente que os diferentes países têm pesos distintos nestes consumos, fruto das diferenças de desenvolvimento económico e social. Esta disparidade pode ser observada na figura 2.2. Esta última apresenta também o panorama do consumo por zona para 2035. O aumento esperado, deve-se principalmente a países como a China e a Índia, que representam juntas cerca de metade desse valor. Os países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) contribuem para o aumento, mas não tão significativamente.

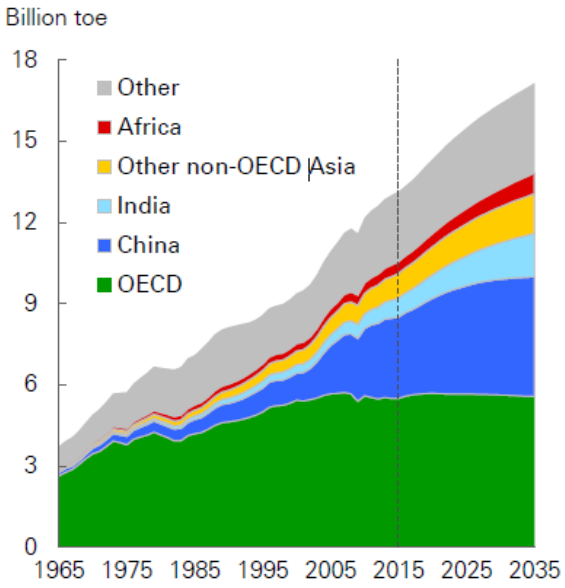


Figura 2.2: Projeção para 2035 do consumo de energia primária por zona no globo [3]

Na figura 2.3 podemos observar as projeções do consumo de energia por fonte de energia primária até 2035, bem como a sua representatividade no consumo total. De acordo com a análise anterior, verifica-se um aumento global da procura. O rápido desenvolvimento e aumento de competitividade das energias renováveis, juntamente com a energia nuclear, explica o seu crescimento e as suas projeções para 2035. A suportar a melhoria da competitividade das renováveis, estão a energia solar e eólica, principalmente. Espera-se que o gás natural apresente uma subida mais rápida na sua utilização, face ao petróleo e o carvão, que também sofrerão um aumento, com uma taxa menos acentuada. Este fenómeno pode ser explicado com os desenvolvimentos tecnológicos e melhoria da eficiência dos veículos de transporte, como por exemplo, os veículos elétricos [3].

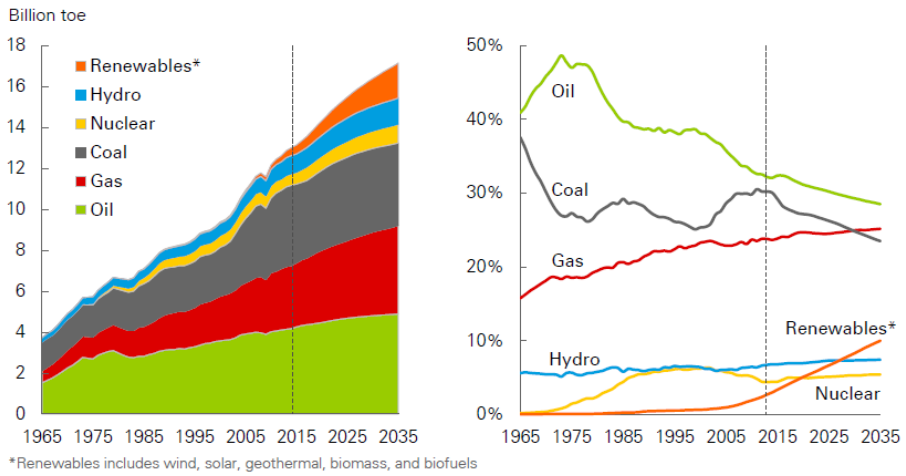


Figura 2.3: Consumo por fonte de energia (esquerda) e respetivas percentagens (direita) [3]

É importante conhecer os diferentes setores de atividade onde a energia é consumida. De facto, contamos com os setores da Indústria, Edifícios e Transportes. A repartição dos consumos por estas áreas é apresentada na figura 2.4.

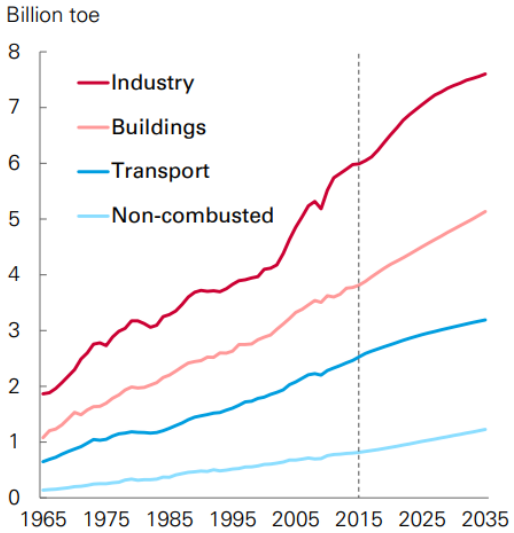


Figura 2.4: Consumo de energia por setor de atividade.

A energia elétrica, viu o seu consumo acompanhar o aumento mundial da procura, e como já referido, assume-se como a maior fatia em utilização entre os tipos de energia. Apesar do rápido aumento das energias renováveis, as principais fontes de produção deste tipo de energia continuam a ser os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão).

Não pode ser esquecida a questão da emissão de GEE, nomeadamente o Dióxido de Carbono (CO_2), que surge intimamente ligada à utilização e produção de energia, derivado principalmente da combustão de combustíveis fósseis. Podemos observar o aumento da sua emissão na figura 2.5. Este cenário exige que se tomem medidas para reduzir as emissões, visto serem altamente nocivas para o ambiente no planeta. Nesse sentido, estabeleceram-se acordos como o Protocolos de Quioto (1997), Cimeira de Cancun (2010) e Acordo de Paris (2016). Todos eles visam a forte redução das emissões de CO_2, entre outras medidas, combatendo as alterações climáticas adversas que se tem vindo a verificar. Responder à nova dinâmica energética global ao mesmo tempo que se reduz as emissões de CO_2, representa, sem dúvida, um enorme desafio. É de esperar um abrandamento da taxa de aumento de emissões de GEE. Como tal, é esperado que continuem a aumentar embora mais lentamente, apontando para a necessidade de políticas adicionais [3].

Os recursos fósseis acima referidos têm um período de restituição muito longo para o ritmo a que o ser humano os utiliza, existindo assim uma enorme pressão sobre a natureza. Torna-se premente a aposta em fontes de energia alternativas, como as renováveis. Estas contribuem, sem duvida para a preservação do ambiente, tendo outra grande vantagem, que se prende com a redução da dependência energética por parte dos diversos países e consumidores.

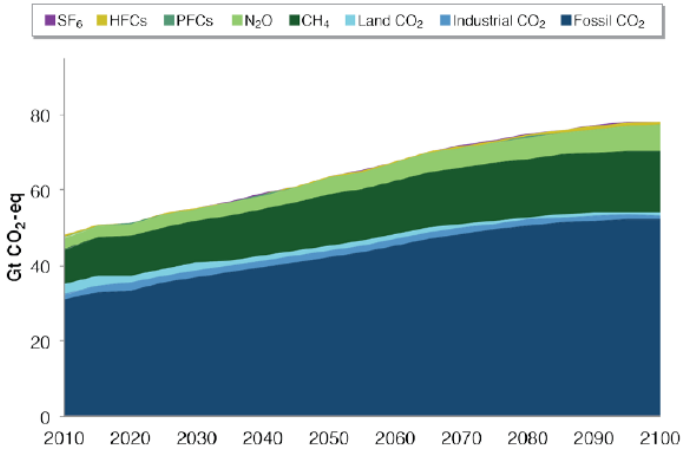


Figura 2.5: Evolução das emissões de GEE [4]

Todo o contexto energético mundial encontra-se em mudança, onde os tradicionais centros de procura são suplantados por mercados emergentes em rápido crescimento. O Mix energético está a sofrer alterações devido ao desenvolvimento tecnológico e às preocupações ambientais. Existe, portanto, a necessidade de adaptar os diversos setores de atividade a esta realidade [3]. Tudo isso aponta para a importância da racionalização e correta utilização da energia, surgindo cada vez mais na realidade humana o conceito da eficiência energética.

2.3 Energia em Portugal

Tal como no resto do mundo, é nos combustíveis fósseis que se encontra a maior fatia na supressão das necessidades energéticas nacionais.

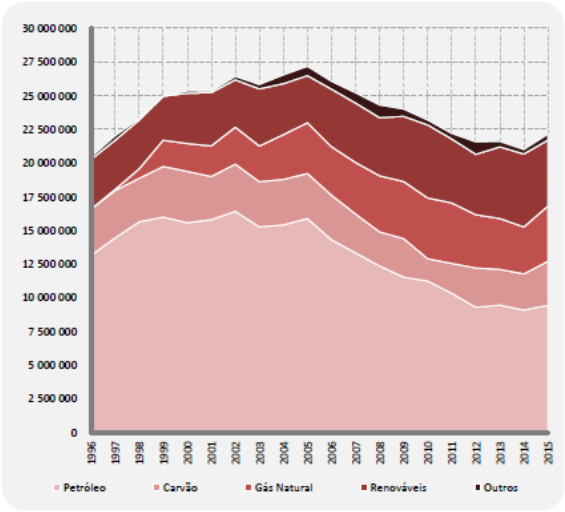


Figura 2.6: Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal em toneladas equivalentes de petróleo (tep) [5]

Na figura 2.6 apresenta-se a evolução do consumo de energia primária até 2015. Observa-se uma diminuição do peso do petróleo no total do consumo, enquanto as energias renováveis e o gás natural têm vindo a aumentar a sua preponderância. Tal comportamento será interpretado nos próximos parágrafos deste subcapítulo.

Portugal possui escassos recursos fósseis, que como já referido, assumem ainda elevada importância para a satisfação da procura, como demonstrado pela figura 2.7. Este facto interfere com a independência energética do país, pois tem de importar os combustíveis fósseis.

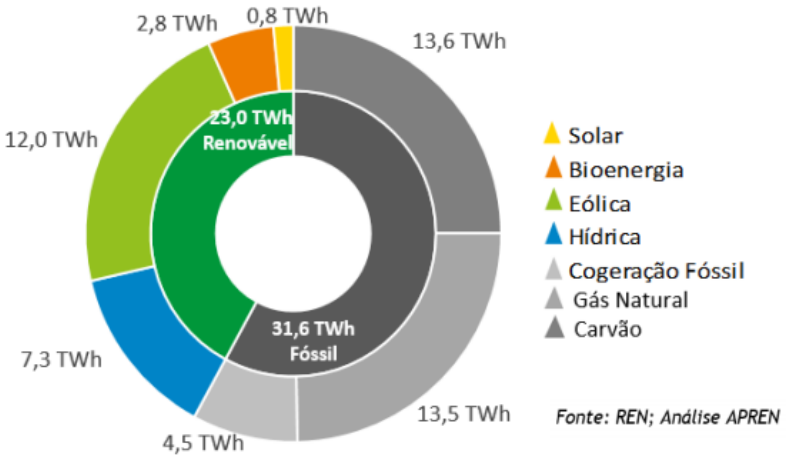


Figura 2.7: Produção de eletricidade por fonte em Portugal [6]

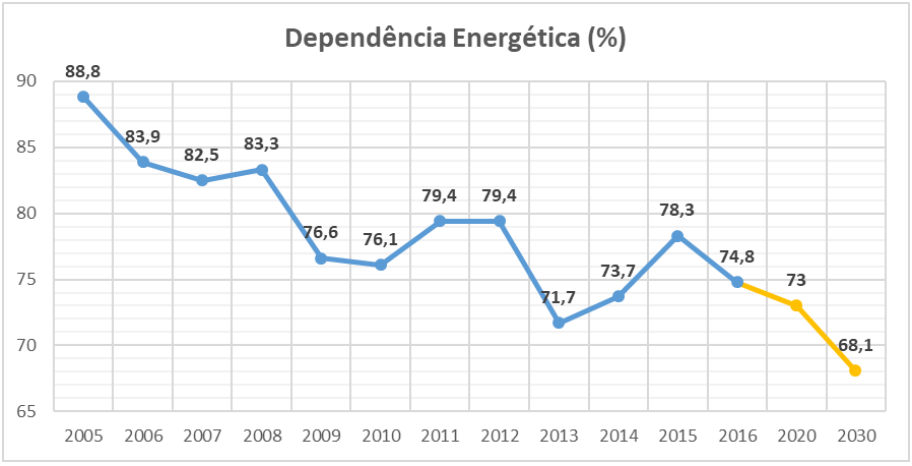


Figura 2.8: Dependência Energética Portuguesa com previsão para 2020 e 2030 [7]

Para contornar a elevada dependência energética Portugal investiu em novas tecnologias de produção de energia elétrica que se denominaram Produção em Regime Especial (PRE). Aqui engloba-se a produção com recursos endógenos, renováveis e não renováveis, de tecnologias de produção combinada de calor e eletricidade (cogeração) e de produção distribuída [49]. A posição geográfica de Portugal proporciona uma abundância de recursos naturais renováveis. Ocorreu,

assim, uma forte aposta em Energias Renováveis, o que tem vindo a provocar uma alteração no mix energético nacional, contribuindo para o cumprimento das metas ambientais acordadas internacionalmente, bem como, para uma diminuição da dependência energética, como se pode observar no gráfico da figura 2.8. Esse valor tem vindo a diminuir prevendo-se que em 2030 chegue aos 68%. Através da análise do gráfico da figura 2.9 conclui-se que a energia eólica assume a maior relevância dentro da PRE Renovável. Observa-se também o aumento global das fontes renováveis ao longo dos anos.

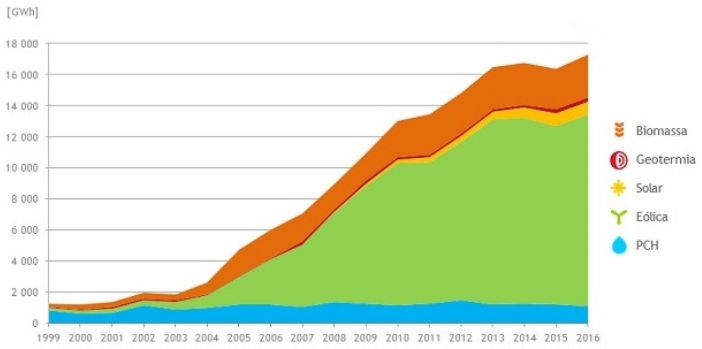


Figura 2.9: Produção de eletricidade por PRE Renovável em Portugal [8]

Para além da dependência energética existe outro indicador a ter em conta na análise do panorama energético nacional. Trata-se da intensidade energética, que relaciona o consumo energético com o PIB do país. Um valor reduzido deste indicador será sinónimo de elevada eficiência energética.

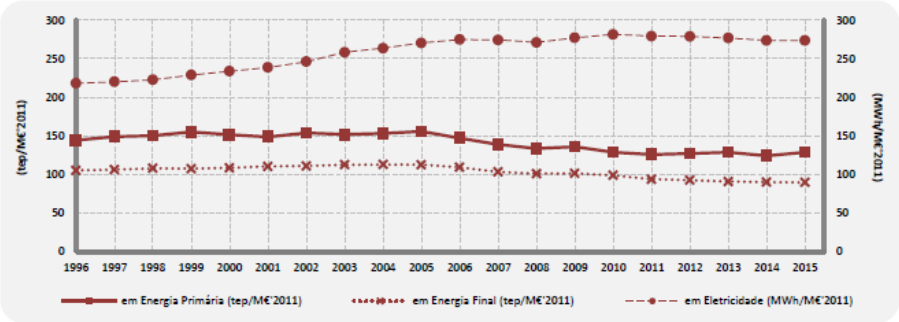


Figura 2.10: Evolução da Intensidade Energética em Portugal [5]

Através da figura 2.10 observa-se que, em Portugal, a intensidade energética em Energia Primária e Final tem diminuído ao longo dos anos. A intensidade energética em Eletricidade tem evoluído no sentido inverso.

Portugal, como país integrante da UE, contribui com as suas políticas energéticas e ambientais, para o cumprimento de metas acordadas pelos Estados Membros. Entre as principais medidas que a UE adotou em 2007, no sentido de uma maior eficiência energética e contra as alterações climáticas, encontra-se o Pacote clima-energia: "três vintes" até 2020 ou "Meta 20-20-20". Os compromissos deste plano seriam:

- 20% de redução de emissões de GEE;
- 20% de aumento na quota de energia obtida a partir de FER;
- 20% de melhoria na eficiência energética.

O Pacote determina ainda uma meta de 10% de renováveis no setor dos transportes até 2020 [50].

Posteriormente, a UE, através da diretiva 28/2009/CE, introduziu a obrigatoriedade aos Estados Membros de submeterem um plano que promova a utilização de energia de fontes renováveis. O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) estabelece as metas nacionais de cada Estado, relativos à quantidade de energia proveniente de Fontes de Energia Renovável (FER), consumida em 2020, nos setores: Transportes (FER-T), Eletricidade (FER-E) e Aquecimento e Arrefecimento (FER-A&A). Define, ainda, as trajetórias de penetração, de acordo com a implementação de medidas previstas para cada setor. Portugal elaborou o seu primeiro plano em 2010, comprometendo-se a atingir a meta global de 31% de renováveis no seu consumo final global de energia, bem como, 10% no consumo final nos Transportes [5]. O plano deve ser revisto a cada 2 anos.

Destaca-se que os objetivos nacionais terão o seu contributo fundamental para os objetivos globais da UE, e consequentemente nos objetivos mundiais.

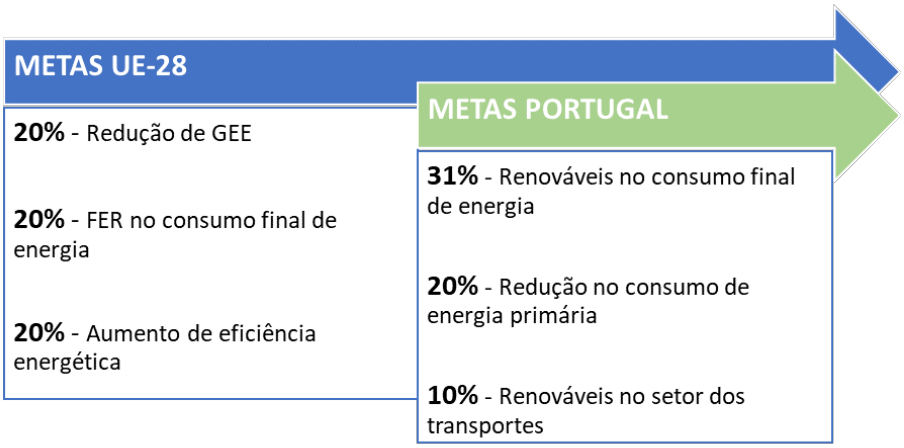


Figura 2.11: Metas para a UE e Portugal em 2020 [9]

Em 2012 Portugal reviu oportunamente o seu plano, tendo em conta as alterações significativas desde 2010, justificando o ajustamento das medidas. O nível elevado de incentivos concebidos ao lado da oferta nos anos 2000, associado à tendência de contração da economia verificada entre 2010 e 2012, provocou um desequilíbrio entre a oferta e a procura. Para além disso entendeu-se que a aposta nas FER não deveria ser descontinuada, havendo a necessidade de um novo modelo energético, com mais critério nos apoios que os direcionasse para os recursos com maior racionalidade económica. A revisão do PNAER continua assente em pilares como a segurança no abastecimento, crescimento económico e competitividade e sustentabilidade ambiental, articulando as estratégias para a procura e a oferta de energia, otimizando os custos sem comprometer os compromissos do país em matéria de energia [50].

Através da análise da tabela 2.1 verifica-se que as FER incorporadas no consumo final bruto se situaram nos 28% em 2015, correspondendo a cerca de 90% do objetivo final para 2020. Encontra-se acima da trajetória indicativa. A FER-T apresentou 7,4% de quota no consumo final em 2015 [5]. Os resultados apresentados até agora por Portugal, bem como as diferentes previsões, indicam que os objetivos serão cumpridos até 2020. .

Tabela 2.1: Objetivos assumidos por Portugal e seu cumprimento [28]

Compromisso	Meta	Objetivo (Mtep)	Resultado		Cumpre
			Previsto 2020	Real	
Consumo de energia final (Meta UE 2016)	Redução em 9%	17	-	15,5[1] Mtep	✓
Consumo de energia Primária (Meta UE)	Redução em 20%	24	23,6 Mtep	21,8[1] Mtep	✓
Consumo de Energia Primária (Meta do Governo)	Redução em 25%	22,5	23,6 Mtep	21,8[1] Mtep	✓
FER no consumo final bruto de energia total	31%	-	31%	28%[2]	✗
FER no consumo final de energia em Transportes	10%	-	10%	7,4%[2]	✗
Dependência energética do exterior (Meta do Governo)	74%	-	73%	74,8%[3]	✗

Observa-se, ainda, que os objetivos de redução de Consumo de Energia Primária e Final, em 2016[1], já superaram a meta definida para 2020. Os valores apresentados dizem respeito a dados recentes[2][3]

Estas políticas energéticas e investimentos de Portugal baseiam-se na racionalidade económica e sustentabilidade, pilares fundamentais, que exigem medidas de eficiência energética, justificando plenamente a utilização de energia advinda de fontes endógenas renováveis e a redução de custos. As políticas que têm sido adotadas, não só permitem reduzir as emissões de GEE, como reforçam a segurança de abastecimento do país e a eficiência energética da economia. Esta torna-se

[1] Resultado em 2016 [7]
[2] Resultado em 2015 [5]
[3] Resultado em 2016 [7]

mais competitiva com a redução dos consumos e custos inerentes à laboração das empresas e gestão da economia doméstica e a libertação de recursos que dinamizem a procura interna e novos investimentos.

Para que os objetivos assumidos fossem atingidos sem comprometimento da competitividade das empresas ou a qualidade de vida da sociedade, foram elaborados programas direcionados para objetivos específicos, dinamizando medidas transversais. O PNAER, enquadra-se no âmbito destes planos, onde se contam também:

- o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – PNAEE;
- o Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública – Eco.AP.

De facto, os resultados que se têm verificado em território nacional, colocam Portugal como um país referência na área da Energia.

Capítulo 3

Eficiência Energética, Qualidade de Energia e Manutenção

Para a concretização dos objetivos abordados no capítulo anterior, em matéria ambiental e de energia é fundamental investir num conceito cada vez mais presente na sociedade atual, que se trata da eficiência. Esta pode ser definida como a capacidade de se realizar uma determinada tarefa consumindo o mínimo de recursos na obtenção dos resultados. Procura-se naturalmente, o máximo de rendimento com o mínimo de recursos. É nessa perspetiva que a eficiência energética se pauta pela redução do consumo de energia mantendo os mesmos serviços (caso necessários), utilizando racionalmente a energia. Para que a eficiência energética seja possível e optimizada é fundamental ter em conta a qualidade de energia e a manutenção de equipamentos e instalações

3.1 Desenvolvimento Sustentável

Como já referido, a alteração das tendências energéticas, nomeadamente na matriz energética e no consumo, bem como a natureza finita de grande parte dos recursos energéticos a que se recorre, provoca uma necessidade premente de implementar políticas sustentáveis. Com a sensibilização mundial crescente que tem existido, os primeiros passos nessa direção foram já tomados com todos os planos e acordos formulados.

O desenvolvimento sustentável assenta numa utilização de recursos naturais de forma eficiente, e tanto quanto possível, na reutilização desses recursos, maximizando os mesmos, reduzindo a quantidade de resíduos provenientes da sua utilização e evitando que as reservas se esgotem futuramente, ao mesmo tempo que permita o atual crescimento económico. Assim, não se compromete as próximas gerações sem abdicar dos padrões de qualidade de vida da sociedade atual.

Entende-se assim que o desenvolvimento sustentável se divide em três componentes:

- **Ambiental:** pois a utilização de energia é uma grande fonte de stress ambiental;
- **Económica:** pois a energia é um fator fulcral para o crescimento macroeconómico;
- **Social:** pois a energia é um pré-requisito para as necessidades humanas básicas.

Analisando a Sustentabilidade de um prisma diferente, pode-se considera-la como um triângulo a otimizar, de modo a que seja o mais equilátero possível. Os vértices são naturalmente as três componentes descritas anteriormente [10].

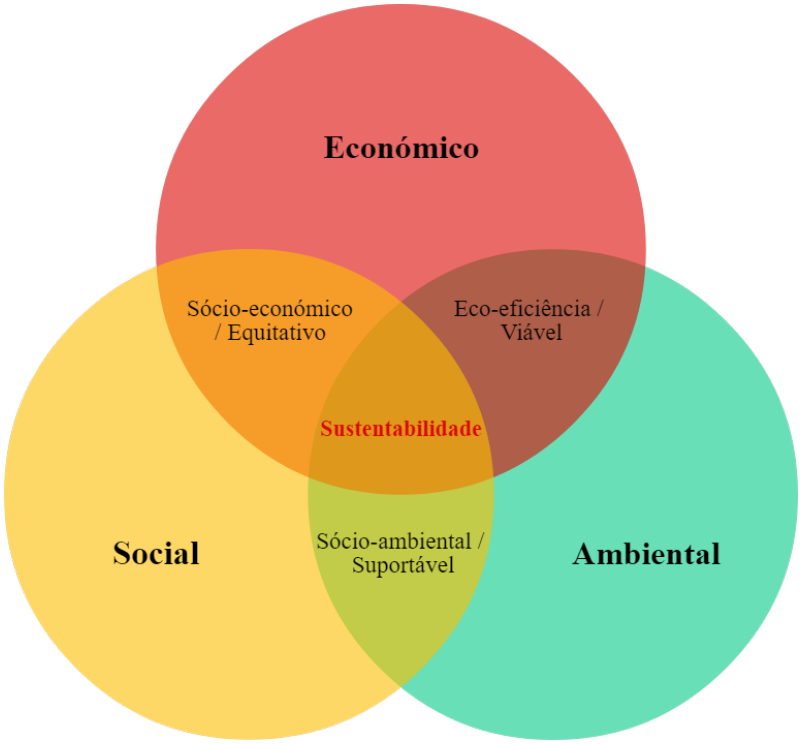


Figura 3.1: Dimensões do Desenvolvimento Sustentável

O conceito de Desenvolvimento Sustentável foi referenciado primeiramente em 1987, no Relatório Brundtland. Este documento, intitulado *Our Common Future*, foi elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, criada em 1983 pela ONU.

Em 1992, no Rio de Janeiro, realizou-se a "Cimeira da Terra" ou Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), com o objetivo de unificar o desenvolvimento socioeconómico com a conservação e proteção dos ecossistemas terrestres. Para supervisionar os resultados da Conferência foi instituída a Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (CDS). Esta foi convertida, em 2013, no Fórum Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável [51].

Um dos principais outputs da CNUMAD foi a Agenda 21. Este documento implica os diferentes países e respetivos governos, bem como, as empresas, organizações não-governamentais (ONG) e restantes setores da sociedade, na ponderação, global e local, sobre a forma de cooperação entre eles, no sentido de encontrar soluções para os problemas socioambientais. Pretende-se que cada país desenvolva a sua Agenda 21.

Em Setembro de 2015, na sede da ONU em Nova Iorque, ocorreu a Cimeira de Desenvolvimento Sustentável, onde se definiram novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes fazem parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Estabelece um prazo

para 2030 para alcançar as metas, devendo contribuir para finalizar o trabalho dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM), definidos em 2000 pelos lideres mundiais em Nova Iorque [51] [52].

A Agenda 2030 integra 17 ODS e 169 metas, implicando equilibradamente as três dimensões do desenvolvimento sustentável. A sua implementação implicará uma participação ativa de todos numa parceria global, com a coordenação de governos, sociedade civil, setor privado, academia, imprensa e da própria ONU [52]. A ação será estimulada em áreas cruciais para a humanidade e para o planeta. Estas podem ser conhecidas como "Os cinco P's da Agenda 2030": Pessoas, Prosperidade, Paz, Parcerias e Planeta [52].

No caso de Portugal, foi elaborada a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), abrangendo o período entre 2005 e 2015. Esta apresentava um conjunto coordenado de políticas interventivas, que possibilitassem um crescimento económico célere e vigoroso, bem como, uma maior coesão social e um aumento da proteção do ambiente [53]. O ENDS português foi construído de uma forma compatível com os princípios da Estratégia Europeia de Desenvolvimento sustentável (EEDS) [54]. A Agenda 21 local foi incluída na proposta da ENDS, como medida a ser implementada.

Um marco fulcral para o desenvolvimento sustentável é o protocolo de Quioto, já referido anteriormente, com o objetivo de reduzir os GEE emitidos. Entrando em vigor em 2005, estabeleceu uma obrigação de reduzir as emissões em 5,2%, em relação aos níveis de 1990, para todos os países-membros. Ficou estabelecido que esta meta seria entre 2008 e 2012. Num segundo período, de 2013 a 2020, o valor acordado foi de 18% de redução em relação a 1990 [55]. A importância da implementação das medidas acordadas, bem como, o cumprimento das metas é inegável. A figura 3.2 demonstra as previsões da evolução da emissão de GEE consoante vários cenários, desde a ausência de medidas, até à aplicação conjunta de várias medidas, como a eficiência energética, aposta em energias renováveis e fixação de CO_2.

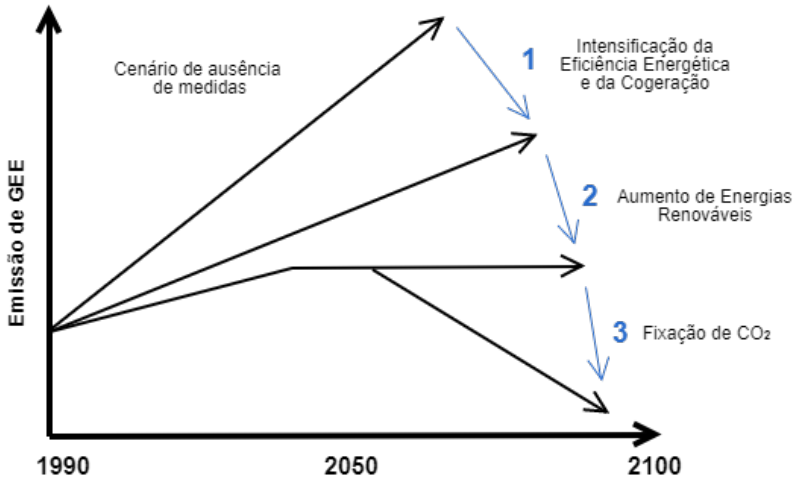


Figura 3.2: Relação entre emissões de GEE e estratégias de Desenvolvimento Sustentável [10]

3.2 Eficiência Energética

De modo a sinalizar e implementar as medidas de oportunidade de racionalização de consumos (ORC) será necessário um conhecimento das opções disponíveis para intervenção, bem como, os seus principais consumidores e soluções existentes no mercado. Para além disso deve ser garantida a correta implementação e fiscalização das condições de operação e manutenção.

A redução dos consumos de energia pode ser alcançada atendendo à recuperação da energia de perdas, eliminação de consumos desnecessários, bem como, a adaptação funcional do equipamento já existente e utilização de equipamentos de rendimento elevado [10].

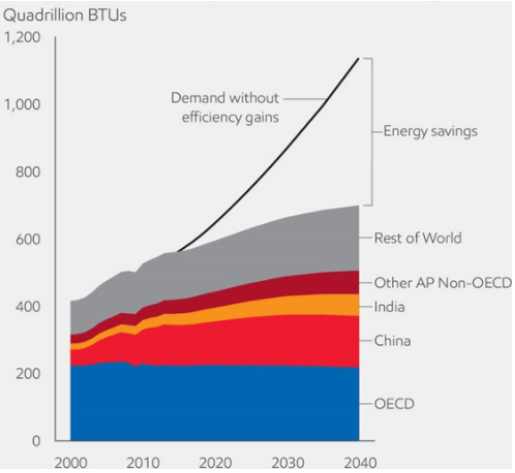


Figura 3.3: Cenário de evolução de procura com e sem medidas de eficiência [11]

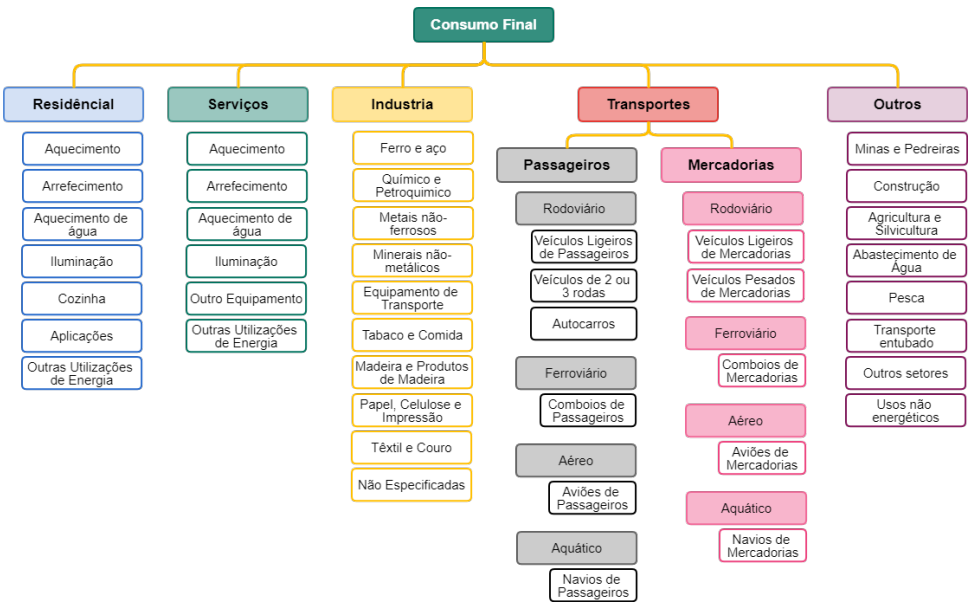


Figura 3.4: Setores, subsetores e utilizações finais da abordagem aos indicadores de eficiência energética [12]

Para suportar o desenvolvimento e implementação das políticas de eficiência energética e verificar a sua efetividade, foram estudados e elaborados um conjunto de indicadores, pela International Energy Agency (IEA). Estes são uma ferramenta importante para analisar interações entre economia, consumo de energia e emissões de GEE, demonstrando aos decisores políticos que a redução de consumos é efetiva e vantajosa. Na Figura 3.4 apresenta-se o conjunto de setores, subsetores e utilizações finais utilizados na abordagem da IEA para os indicadores [12].

Em Portugal, para assumir os compromissos do Protocolo de Quioto, surgiu o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC). Este atribui à Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), responsabilidades na definição de mecanismos que promovam a eficiência energética, ao nível da procura. A Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº 80/2008, aprovou o PNAEE, que abrange medidas fulcrais para que seja possível alcançar, e até suplantar, as metas definidas pela Diretiva nº 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. O PNAEE estabeleceu o objetivo de redução do consumo final de energia em 10% até 2015 [56]. Para financiar os programas e medidas previstas no PNAEE foi criado o Fundo de Eficiência Energética (FEE), em 2010 [57]. Nesse mesmo ano, surge a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) [56].

O FEE pode ainda apoiar projetos não constantes no PNAEE, mas que atuem em matéria de eficiência energética. Assim, assume um segundo objetivo de suportar operações base de projetos em maior escala financiados no âmbito do Portugal 2020. Este trata-se do Acordo de Parceria adotado entre a Comissão Europeia (CE) e Portugal, que define a política de desenvolvimento económico, social e territorial, em Portugal, entre 2014 e 2020 [58].

Em 2011, a CE aprovou o Plano de Eficiência Energética (PEE) ao mesmo tempo que concluiu que, apesar de todo o esforço e evolução nesta matéria, existia a dificuldade de cumprimento do objetivo, o que implicava alterações ao quadro jurídico europeu [59]. Sendo assim, e tendo em vista o horizonte 2020, a Diretiva 2012/27/EU (Nova diretiva Eficiência Energética) veio estabelecer uma redução de 20% no consumo de energia primaria até 2020. Foi, então, pertinente a revisão do PNAEE, surgindo o PNAEE 2016, mais abrangente, dando também continuidade à maioria das medidas do anterior. Portugal adotou uma meta mais ambiciosa, fixando o valor da redução em 25%. Portugal apresenta resultados abaixo do valor referência para o país. Em 2016 o valor verificado foi, como já apresentado, de 21,8 Mtep, estando, assim, no bom caminho [5] .

O Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP) foi lançado, em 2011, com o objetivo de atingir 30% de eficiência energética nos organismos e serviços da Administração Pública até 2020. Incentivando a redução dos consumos nos serviços e organismos, bem como a emissão de GEE, visa contribuir para um maior estímulo da economia, desenvolvendo um enquadramento legal para contratos de gestão de eficiência energética. Assim, contribui para a concretização do PNAEE e do PNAER, anteriormente referidos [60]. É de salientar que a articulação entre os 3 planos é fundamental para alcançar as metas de Eficiência Energética.

Os mercados de eletricidade e do gás natural têm vindo a evoluir em termos de regulação e liberalização, conduzindo a uma maior eficiência no lado da oferta de energia. Já no lado da procura, existem ainda entraves a essa realidade. Isso verificava-se na adesão das empresas de energia

às iniciativas de eficiência. Para além disso, a adoção de equipamentos e hábitos de consumo mais eficientes não se encontrava facilitada. Entre as barreiras à eficiência contam-se o alargado período de retorno do investimento, diferença de tarifas ou preços de fornecimento, falta de informação e desencontro de interesses entre os agentes, bem como, restrições de investimento por parte dos consumidores.

No sentido de combater essas dificuldades a ERSE criou um Plano de Promoção de Eficiência no Consumo (PPEC). Este procura promover ações a ser empreendidas por: comercializadores de energia elétrica, operadores de redes de transporte e distribuição, associações e entidades de promoção e defesa dos consumidores de energia elétrica, associações empresariais e municipais, agências de energia, instituições de ensino superior e centros de investigação, destinadas a consumidores de diferentes secções de mercado [61].

Presentemente, encontra-se em curso o PPEC 2017-2018 com um conjunto de 75 medidas a ser implementadas por um total de 33 promotores. As medidas são apresentadas, via concurso, pelos promotores, sendo avaliadas e selecionadas pela ERSE e pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [62].

Definiram-se dois tipos de medidas:

- Tangíveis: instalação efetiva de equipamentos com eficiência energética superior ao padrão de mercado;
- Intangíveis: visam disponibilizar informação relevante sobre eficiência no consumo e os seus benefícios, através de ações de formação campanhas de divulgação e auditorias energéticas. Tudo isso com vista à adoção de hábitos de consumo mais eficientes.

As medidas tangíveis são classificadas consoante segmentos de mercado distintos:

- Industria e Agricultura;
- Comércio e Serviços;
- Residencial.

As candidaturas ao PPEC ocorrem bienalmente, sendo que as medidas intangíveis podem ter a duração de 1 ou 2 anos, e as tangíveis de 2 anos. A lista integral de medidas constantes no PPEC 2017-2018 pode ser consultada online no Portal da ERSE.

O programa PPEC apresenta medidas específicas direcionadas para escolas, nomeadamente a designada “Auditorias nas Escolas”, com o objetivo de determinar quais as medidas de racionalização do uso de energia indicadas a cada escola.

Ainda direcionado para escolas, a ERSE apresenta no seu portal um conjunto de guias e manuais que fornecem indicações sobre eficiência energética:

- PEEE: Plataforma de Escolas Energicamente Eficientes;
- Manual da Eficiência em Estabelecimentos Escolares;

- Sistema de Gestão de Consumos em Escolas Secundárias;
- Guia de Eficiência Energética: Manual de Boas Praticas.

A DGEG tem também uma forte intervenção na área da eficiência energética, intervindo nas seguintes áreas:

- Etiquetagem energética;
- Edifícios;
- Iluminação;
- Taxa sobre lâmpadas;
- Transportes;
- Portugal Eficiência 2015: Plano de Acção para a Eficiência Energética;
- Cogeração;
- Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

O setor dos edifícios representa cerca de 40% do consumo de energia final na Europa, sendo que mais de 50% desse consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Neste contexto surgiu Diretiva nº 2002/91/CE, que ditou a implementação de sistemas de certificação energética (SCE) nos edifícios. Ocorreu uma revisão da diretiva em 2010, passando a vigorar a Diretiva nº 2010/31/CE. A certificação dos edifícios permite obter informação sobre o desempenho energético dos mesmos. Os diversos intervenientes no SCE em Portugal são:

- Entidade fiscalizadora: DGEG;
- Entidade gestora: Agência para a Energia (ADENE);
- Promotores ou Proprietários de edifícios ou equipamentos;
- Peritos Qualificados;
- Técnicos de Instalação e Manutenção de edifícios e sistemas;
- Entidades competentes para acompanhamento da qualidade do ar interior: Direção Geral da Saúde (DGS) e a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA);
- Entidades competentes na fiscalização e emissão de contraordenações: DGEG e Inspeção Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAMAOT) [63]

Um importante recurso para a eficiência energética em Portugal é o SGCIE, que é aplicado às instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), cujos consumos são superiores a 500 tep/ano. Este sistema prevê a realização, por parte das CIE, de auditorias energéticas periódicas, com vista ao aumento da eficiência energética, prevendo ainda a implementação de Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn), que quando aprovados, passam a designar-se Acordos de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE). [64]

3.3 Qualidade de Energia Elétrica

Nos sistemas elétricos é fundamental manter a qualidade de energia elétrica. Isto depreende garantir a qualidade e continuidade de serviço. Através do controlo da forma e amplitude de onda de tensão, frequência e simetria do sistema de tensões trifásico, é possível manter a qualidade de serviço. A continuidade é conseguida minimizando o número e a duração das interrupções do fornecimento de energia elétrica. A ERSE disponibiliza um Regulamento, com as especificações sobre esta matéria, tratando-se do Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS), o qual também inclui normativas sobre aspetos de qualidade comercial [65].

A norma NP EN 50160:2001 [31] foi elaborada com o intuito de definir os parâmetros técnicos de controlo e manutenção das margens de funcionamento no que diz respeito ao sistema trifásico de tensões. A situação ótima seria obter um sistema de três tensões sinusoidais, desfasadas 120º entre si e de amplitude constante, a uma frequência de 50 Hz. A razão da existência da referida norma prende-se com a impossibilidade de manter constantes tais parâmetros, dada a ocorrência de perturbações na rede, existindo sempre margens de variação, que devem ser controladas.

As perturbações na rede podem ser de diversa ordem:

- Transitórios;
- Interrupções;
- Desequilíbrio de Tensões;
- Cavas de Tensão;
- Sobretensões;
- Flutuações de Tensão;
- Variação de Frequência;
- Distorção da Forma de Onda.

3.3.1 Transitórios

Com elevado potencial de danificação da rede, os fenómenos transitórios dividem-se em: impulsivos e oscilatórios. Os transitórios impulsivos, são eventos muito rápidos (5 a 50 ns) cujas causas residem em trovoada, fraco sistema de terra, comutação de cargas indutivas, corte de energia e

descargas eletrostáticas. Tais eventos podem provocar perda de dados e/ou avaria dos equipamentos elétricos. Existem meios de prevenir tais causas, como os descarregadores de sobretensões, aplicados contra descargas atmosféricas, e manter a humidade relativa num valor intermédio para evitar descargas eletrostáticas (podem ocorrer aquando de baixa humidade relativa), podendo ainda ser instalados materiais antiestéticos com a ligação à terra. Os fenómenos transitórios oscilatórios contam como causa principal a comutação de cargas fortemente indutivas ou capacitivas.

3.3.2 Interrupções

Define-se interrupção como uma perda completa de tensão de alimentação, podendo ser de vários tipos:

- Instantânea: 0,5 a 30 ciclos;
- Momentânea: 30 ciclos a 2 segundos;
- Temporária: 2 segundos a 2 minutos;
- Prolongada: superior a 2 minutos.

3.3.3 Desequilíbrio de Tensões

Um sistema diz-se desequilibrado quando apresentar amplitudes distintas ou desfasamentos assimétricos, normalmente causados por distribuições assimétricas de cargas pelas três fases. Usualmente, para melhor avaliar e estudar estes desequilíbrios, decompõe-se o sistema em componentes simétricas: direta, inversa e homopolar, determinando-se o desequilíbrio pela razão entre as componentes direta e inversa. Sabe-se que o desequilíbrio não deverá ser superior a 4% do valor da tensão de menor amplitude.

Este fenómeno afeta o funcionamento de equipamentos como motores de indução e transformadores, provocando o seu aquecimento e aumento dos esforços mecânicos.

A correção do desequilíbrio de tensão pode ser realizada através da reconfiguração de cargas, equilibrando-as pelas três fases. Pode ainda ser aumentada a potência de curto-circuito (cc) ou ser utilizados transformadores com ligações especificas (Scott e Steinmetz).

3.3.4 Cavas de Tensão

As cavas de tensão consistem em reduções bruscas do valor eficaz da tensão, para um valor situado entra 90% a 1% da tensão nominal, verificada imediatamente antes da ocorrência da cava (designada por tensão de referência deslizante no RQS). A duração deste fenómeno varia de cerca de 10 milissegundos a 1 minuto.

A sua origem está geralmente em defeitos na Rede de Distribuição (RD) e na Rede de Transporte (RT), sendo causadas por um aumento brusco da corrente na zona de defeito. Outro motivo é a ligação de máquinas de potência muito elevada, sendo que os equipamentos afetados são,

essencialmente, os motores de indução (redução do binário) e os motores assíncronos (redução do binário podendo levar a perda de sincronismo e interrupção e funcionamento). Os sistemas eletrónicos (máquinas de controlo numérico, variadores de velocidade, contatores e sistemas de iluminação com lâmpadas incandescentes e de descarga) sofrem consequências sérias.

De modo a evitar este fenómeno, podem ser utilizados mecanismos de redução da corrente de arranque, como arrancadores estrela-triângulo, arrancadores suaves e variadores eletrónicos de velocidade. Outras soluções passam pela utilização de UPS, motores geradores e técnicas de otimização da topologia da rede elétrica. Aumentando a potência de cc consegue-se reduzir a propagação da cava de tensão, reduzindo o tempo de eliminação do defeito.

Quando as instalações são propícias a ocorrência deste fenómeno, podem ainda ser aplicados transformadores ferro-ressonantes, equipamentos de alimentação ininterrupta e *Dynamic Voltage Restorers*.

3.3.5 Sobretensões

As sobretensões são aumentos da tensão, podendo ser momentâneas (duração de 0,5 ciclos a 1 minuto) ou prolongadas. As primeiras podem ocorrer com ligações de neutro de alta impedância, reduções repentinas de carga elevada ou defeitos fase-terra em redes trifásicas e podem provocar degradação de contactos elétricos e de isolamentos, bem como, do material eletrónico. Já as segundas, ocorrem na sequência de má regulação das tomadas dos transformadores a montante, e podem provocar um disparo intempestivo das proteções e colocar os equipamentos em sobreaquecimento. Os inversores e reguladores de tensão também podem sofrer avarias na ocorrência deste fenómeno.

Outras causas prováveis para a ocorrência de sobretensões são descargas atmosféricas, descargas eletrostáticas e manobras necessárias ao funcionamento do sistema de distribuição e transporte.

Podemos ainda observar que as sobretensões podem ser de baixa (frequência do sistema) ou alta frequência (superior à do sistema).

Para minimizar ou solucionar o problema das sobretensões podem ser utilizados UPS ou condicionadores de energia, e no caso específico das descargas atmosféricas, a instalação de cabos de guarda, de modo a proteger as linhas.

3.3.6 Flutuações de Tensão

Flutuações de Tensão são variações sistemáticas de pequena dimensão da forma de onda da tensão, ou alterações aleatórias na respetiva forma de onda. Estas costumam variar entre 90% a 110% da tensão nominal e são o principal causador do efeito de *flicker*, que consiste em variações rápidas da luminosidade das fontes luminosas.

As causas principais deste fenómeno são as cargas com regimes de funcionamento muito variável e de grande potência. O aumento da potência de cc é, também para este fenómeno, uma solução para o mitigar, podendo ainda ser reduzido o fluxo de energia reativa e a realocação de cargas sensíveis ou remoção da carga perturbadora.

3.3.7 Variação de Frequência

Em redes de carga elevada em comparação com a capacidade produtora e que as proteções dos geradores não se encontrem corretamente parametrizadas, é frequente ocorrer variações de frequência. Os motores são particularmente sensíveis a estas variações, visto que a sua velocidade varia com a frequência, podendo sofrer perda de rendimento e degradação. Devem ser otimizados os controladores dos geradores para evitar que estes funcionem com variações de frequência.

3.3.8 Distorção da Forma de Onda

As distorções da forma de onda podem ser divididas em cindo tipos principais:

- Direct Current (DC) *offset*;
- Distorção Harmónica;
- Interharmónicos;
- Micro-cortes "*Notching*";
- Ruído;

3.3.8.1 DC *Offset*

Quando existe falha dos equipamentos retificadores AC/DC, pode ser induzida uma corrente DC num sistema de distribuição em corrente alternada (AC). Estas duas componentes de corrente podem incrementar-se originando uma corrente composta. As causas do surgimento dessa corrente DC podem ser o sobreaquecimento e saturação de transformadores. A distorção da forma de onde originada afeta negativamente os equipamentos eletrónicos. A solução para este problema prende-se com a reparação ou substituição da origem do problema: retificadores ou onduladores.

3.3.8.2 Distorção Harmónica

Causadas por componentes que apresentam um comportamento não-linear (maioritariamente eletrónicos, como variadores de velocidade e balastros eletrónicos), que causam perturbações nas formas de onda e corrente, as distorções harmónicas apresentam consequências sérias para a qualidade de energia e impacto no aumento das perdas nos condutores. As perdas por correntes de *Foucault*, que representam cerca de 10% das totais à carga máxima, aumentam com o quadrado dos harmónicos da corrente.

As consequências dependem intimamente das características da rede onde se localiza o equipamento, bem como, as caraterísticas do próprio. Com este fenómeno pode ocorrer aumento da temperatura, causada pelo aumento do valor eficaz da corrente e consequente degradação do isolamento e da eficácia dos sistemas de proteção. A deformação da forma de onda de tensão causa a perturbação dos equipamentos eletrónicos e cargas mais sensíveis.

Tem-se como efeitos dos harmónicos nos condutores o/a:

- Aumento da corrente efetiva, aumentando as perdas por efeito de Joule e consequente aquecimento;
- Atuação intempestiva das proteções.
- Circulação de corrente no neutro;
- Efeito pelicular, que reduz a capacidade máxima admissível dos condutores.

Nos transformadores os principais impactos são:

- Aquecimento dos enrolamentos;
- Aumento das perdas no ferro.

Relativamente aos motores, verifica-se:

- Aquecimento de enrolamentos;
- Aumento das perdas no circuito magnético;
- Diminuição do rendimento e surgimento de vibração anormal.

Os condensadores sofrem:

- Ressonância elétrica;
- Envelhecimento prematuro;
- Aquecimento;
- Destruição.

Para além de todos os efeitos já mencionados, a distorção harmónica leva a ocorrência de medidas elétricas incorretas, efeito *flicker* e falta de compatibilidade eletromagnética com sistemas de telecomunicações.

Como forma de diminuir a distorção harmónica dispõe-se do sobredimensionamento dos equipamentos, separação de cargas perturbadoras das mais sensíveis, transformadores com ligações especiais e ainda, filtros de harmónicos (passivos, ativos ou híbridos).

3.3.8.3 Interharmónicos

Os Interharmónicos são originados por sinais incluídos por conversores estáticos de frequência, motores de indução, entre outros. Os efeitos que esta distorção provoca são, principalmente, efeito *flicker*, sobreaquecimentos e interferências em aparelhos de comunicação. As soluções para este tipo de distorção prendem-se com filtro, UPS e condicionadores de linhas.

3.3.8.4 Micro-cortes

Micro-cortes são perturbações periódicas de tensão causadas por equipamentos eletrónicos. As suas consequências são falhas do sistema, perda de dados e problemas em transmissão de dados. Como solução, tem-se o afastamento da carga dos equipamentos que causam o fenómeno, filtros e UPS.

3.3.8.5 Ruído

O ruído acontece quando uma tensão ou corrente de alta frequência se sobrepõe com a componente fundamental da tensão ou corrente. Gerado por equipamentos de eletrónica de potência, circuitos de controlo, fontes comutadas, entre outros. Provoca problemas de ordem técnica como erro de dados, mau funcionamento de equipamentos, falhas de componentes a longo prazo, entre outros.

Para controlar este fenómeno pode-se:

- Isolar uma carga via UPS;
- Transformador de isolamento com ligação à terra;
- Realocação de carga sensível;
- Filtros de ruído;
- Cabos protegidos.

3.4 Manutenção

De modo a aumentar a vida útil dos equipamentos numa instalação é necessário realizar uma correta manutenção dos mesmos. Uma vez que, as condições do edifício também afetam a eficiência energética, a manutenção das boas condições estruturais são também uma exigência.

Desenvolveu-se recentemente o conceito PDCA:

- Plan (Planear);
- Do (Executar);
- Check (Verific;ar)
- Act (Agir).

3.4.1 Gestão da Manutenção

Importa aliar a técnica à engenharia, assegurando o bom funcionamento dos equipamentos e instalações, obtendo o seu máximo rendimento e segurança. Pode-se definir gestão da manutenção

como o conjunto de iniciativas que tenham por objetivo assegurar o bom funcionamento das maquinas e instalações, garantindo que são oportuna e eficazmente intervencionadas, evitando perda de função ou redução do rendimento, propondo condições de operacionalidade caso tal aconteça. Tudo isto minimizando os custos inerentes a todo o processo. Assim sendo, todos os equipamentos deverão ser alvo de ações de manutenção ao longo do seu período de vida útil [66].

A manutenção tem vindo a ganhar uma importância crescente, acompanhando o crescimento da exigência de qualidade dos equipamentos e do desenvolvimento tecnológico. A segurança de pessoas e equipamentos exige também que exista uma cuidada manutenção, bem como as preocupações com os recursos limitados do planeta. De referir, que a não realização de uma correta manutenção, pode acarretar o próprio aumento de custos com a manutenção, uma vez que o tempo de vida útil diminuirá com o aumento do desgaste dos equipamentos.

É importante definir protocolos de manutenção específicos para cada tipo de instalação [66]:

- Instalações Elétricas;
- Instalações AVAC;
- Instalações de Segurança;
- Instalações de Gás;
- Instalações de Águas e Esgotos;
- Elevadores/Escadas Rolantes;
- Sistemas de Gestão Técnica Centralizada;
- Elementos Construtivos;
- Indústria.

3.4.2 Tipos e Objetivos da Manutenção

Existem diferentes tipos de manutenção entre os quais:

- Preventiva sistemática: realizada sem falha, segundo planeamento efetuado;
- Preventiva condicionada: realizada sem falha, em dependência de um acontecimento ou condição;
- Corretiva: efetuada após a falha;
- Preditiva.

A manutenção permite reduzir a probabilidade de avarias, falhas e/ou degradação dos ativos de uma instalação, nomeadamente dos sistemas construtivos, sistemas e equipamentos de uma dada entidade (escolas, por exemplo). Assim, os seus principais objetivos passam por [66]:

- Disponibilidade: evitar paragens dos ativos (redução de custos de imobilização e intervenções de emergência);
- Manutibilidade: redução de tempos de intervenção e imobilização;
- Fiabilidade: aumento do tempo de vida dos ativos;
- Segurança e Higiene: níveis de segurança, conforto e higiene;
- Economia. Redução de custos totais.

3.4.3 Normas

Devido à sua característica diversidade de domínios técnicos, as atividades de manutenção estão sujeitas a um alargado leque de normas de engenharia. A introdução de normais europeias preconiza um esforço para a uniformização de terminologias, conceitos e modos de atuação. Algumas das normas mais importantes em vigor são:

- EN 13306:2007 – Norma da terminologia de manutenção;
- EN 13269:2007 – Norma dos contratos de manutenção;
- EN 15341:2009 – Norma dos indicadores de manutenção;
- FD X60-000 – Norma AFNOR (níveis de manutenção);
- NP 4483:2009 - Guia para a implementação do sistema de gestão de manutenção;
- NP 4483:2009 - Requisitos para a prestação de serviços de manutenção;

3.4.4 Plano de Manutenção

O plano de manutenção deve ser considerado nas fases iniciais dos projetos, estabelecendo as orientações para uma melhor utilização futura dos edifícios. Assegura ainda as condições adequadas às operações de gestão do edifício e otimização de vida útil das soluções e equipamentos, contribuindo para a eficiência dos serviços de operação, conservação e manutenção, reduzindo os custos do serviço.

O plano incide sobre dois aspetos fundamentais:

- Prevenção de riscos a que os trabalhadores estão expostos durante as operações de manutenção.
- Controlo de fatores com influencia no ciclo de vida do edifício e suas instalações e sistemas.

São definidas as condições para a realização de operações de conservação e manutenção: segurança, acessibilidade, ergonomia e custo do ciclo de vida.

Capítulo 4

Fornecimento de Energia e Sistema Tarifário

O Sistema Elétrico Nacional (SEN) assegura o fornecimento adequado de energia elétrica para as necessidades dos consumidores, garantindo princípios de racionalidade, transparência e eficiência desde a produção ao fornecimento ao consumidor final. Nesse sentido, é importante a regulação do SEN.

A cadeia de valor do SEN compreende a produção, transporte, distribuição, comercialização e consumo de energia elétrica, contando com diversos agentes:

- Produtores em Regime Ordinário (PRO);
- Produtores em Regime Especial (PRE);
- Operador da rede de Transporte;
- Operadores das Redes de Distribuição;
- Comercializadores de Último Recurso (CUR);
- Comercializadores em Regime de Mercado.

As atividades sujeitas a regulação são as seguintes:

- Gestão Global do Sistema;
- Transporte de energia elétrica;
- Distribuição de energia elétrica;
- Compra e venda de energia elétrica;
- Comercialização de energia elétrica.

Os mercados de eletricidade e gás natural são atualmente regulados pela ERSE. Esta exerce funções nas áreas de:

- Liberalização do setor elétrico;
- Aprofundamento do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL);
- Acompanhamento das atividades e dos agentes do setor;
- Definição de tarifas e preços para as atividades reguladas;
- Promoção de níveis adequados de qualidade de serviço;
- Elaboração de Regulamentos;
- Definição e monitorização das ligações às redes;
- Disponibilização de um suporte gráfico e numérico de factos e números;
- Realização de inspeções e auditorias.

O Sistema Tarifário em Portugal, assim como, a metodologia de cálculo das tarifas, devem promover a eficiência na alocação de recursos, mantendo a equidade das tarifas sem colocar em causa o equilíbrio económico e financeiro das empresas reguladas, a qualidade do fornecimento de energia elétrica e a estabilidade da evolução tarifária. As tarifas contam com o Regulamento Tarifário para a sua definição [15].

A ERSE publica mensalmente informações sobre o mercado liberalizado. Anualmente são publicados os valores das tarifas, enquanto que os períodos de regulação têm uma periodicidade trienal.

4.1 Reestruturação e Liberalização do Setor Elétrico

Na maior parte dos países Europeus a liberalização do setor foi realizada de uma forma faseada, começando pelos clientes de com valores mais altos de consumo e tensão. Em Portugal, o método utilizado foi semelhante, tendo tido inicio em 1995, com progressão até 2006. A partir desse ano todos os consumidores de eletricidade em Portugal estão habilitados a escolher o seu fornecedor de Energia [15].

A mudança de comercializador é gratuita, não implicando alterações obrigatórias à instalação consumidora. Foi instituído um período transitório até 31 de dezembro de 2020 para os consumidores, ainda alimentados por um CUR, escolherem um novo fornecedor de eletricidade. O número de clientes do mercado livre ascende já aos 4,85 milhões de clientes, com números de Maio de 2017 (cerca de 92% do consumo total em Portugal Continental). Em termos de segmentos verifica-se o panorama da Tabela 5.1.

Tabela 4.1: Consumo por segmento presente no mercado livre.

Grandes Consumidores	Domésticos	Pequenos Negócios	Indústriais
99,8%	83%	95,8%	98,9%

Esta liberalização fazia prever o aumento da concorrência do mercado de eletricidade, tendo impacto no nível de preços e na melhoria da qualidade de serviço. Consequentemente a satisfação dos consumidores aumenta [15].

Em termos de oferta, os indicadores de concentração, relativos aos comercializadores em mercado livre, apresentaram uma ligeira descida. Esta verificou-se quer tanto a nível de consumo, como de número de clientes. O mercado conta com comercializadores como: EDP, GALP, Iberdrola, GN Fenosa, Endesa, entre outras. Os portais da ERSE e da DGEG contêm listas completas dos comercializadores ativos no mercado elétrico.

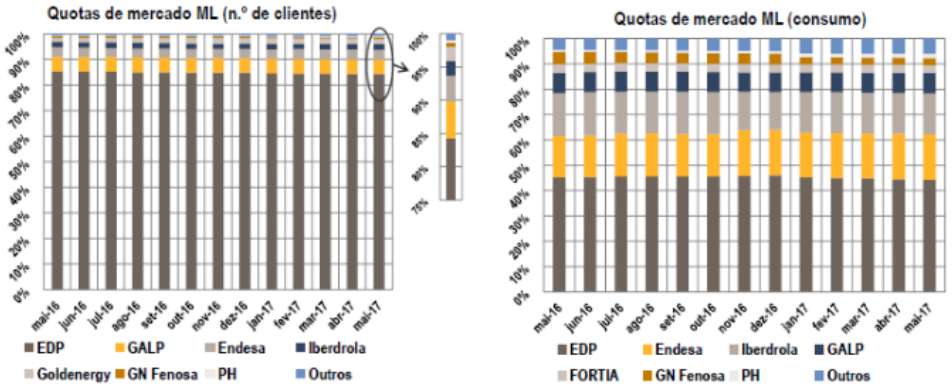


Figura 4.1: Quotas de mercado por comercializador em termos de consumos e clientes.

Como se pode observar na figura 4.1, a EDP Comercial detém a maior percentagem de clientes e de consumos no mercado livre.

Globalmente, acompanhando a liberalização do setor elétrico (SE), ocorreu a sua reestruturação, desverticalizando-se as companhias tradicionais, surgindo uma estrutura desagregada, com a participação de múltiplos agentes. Na figura 4.2 é representada essa estrutura.

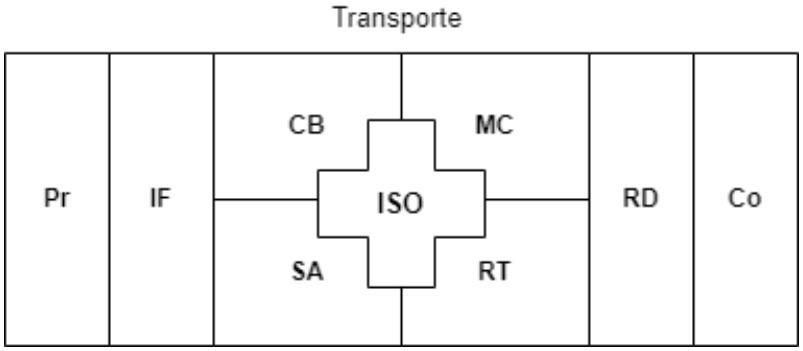


Figura 4.2: Novo modelo do SE.

Analisando o esquema, constata-se a presença de duas atividades extremamente competitivas nas extremidades. São elas a Produção (Pr) e a Comercialização (Co). Também competitivas são a Intermediação Financeira (IF) e a atividade RD, exercida em regime de monopólio regulado. Centralmente, encontram-se funções que pertenciam tradicionalmente ao segmento do Transporte:

- Os Contratos Bilaterais (CB), físicos de natureza financeira, pressupondo relacionamento direto entre entidades produtoras e comercializadoras e clientes elegíveis. Os contratos são estabelecidos comportando preço e modulação de energia a produzir ou absorver, durante um certo intervalo de tempo;

- Os Mercados Centralizados (MC), que procedem ao encontro de propostas de compra e venda de energia elétrica recebidas, obtendo um despacho puramente económico para cada intervalo de tempo do dia seguinte. As propostas de venda comportam valores disponíveis de potência e preço mínimo a receber, enquanto que as de compra apresentam o preço máximo a pagar;

- A RT, constituída por entidades que detêm ativos na atividade de transporte de energia elétrica, que atuam na base de um monopólio natural nas áreas geográficas onde estão localizadas;

- As entidades fornecedoras de Serviços Auxiliares (SA), providenciam serviços como: reservas, produção de potência reativa e controlo de tensão, regulação de frequência/telerregulação. Não são necessariamente entidades produtoras. Os níveis de SA podem ser contratados para um mercado específico, ou serem definidos níveis mínimos a respeitar como condição de participação no mercado.

No centro do esquema e da organização do setor encontra-se o Independent System Operator (ISO), que trata da coordenação técnica da exploração do sistema de transporte. Deve receber informação por parte dos SA, da RT, dos CB (nós da rede e potência envolvidas), e dos MC (despachos económicos). É avaliada a viabilidade técnica do conjunto contratos/despachos para cada intervalo do dia seguinte, despistando situações de congestionamento (ultrapassagem dos

limites técnicos). Caso estes não se verifiquem, a exploração do sistema é viável do ponto de vista técnico, seguindo-se a alocação dos níveis de SA necessários. Em caso de não viabilidade do despacho, por ocorrência de congestionamentos, devem ser induzidas ou forçadas alterações, com recurso a diversos processos.

O esquema da figura 4.2 retrata as estruturas dos países que optaram por estruturas mais desagregadas. No entanto, em diversos países, optou-se por agregar várias das atividades acima descritas na mesma entidade, nomeadamente a nível de transporte. No caso de existir agregação das atividades de transporte e coordenação técnica, passa-se de um ISO para um Transmission System Operator (TSO).

Pode afirmar-se que a reestruturação do SE criou, também, trajetos distintos para os fluxos de informação, financeiros e de energia elétrica. Este conceito está patente na figura 4.3.

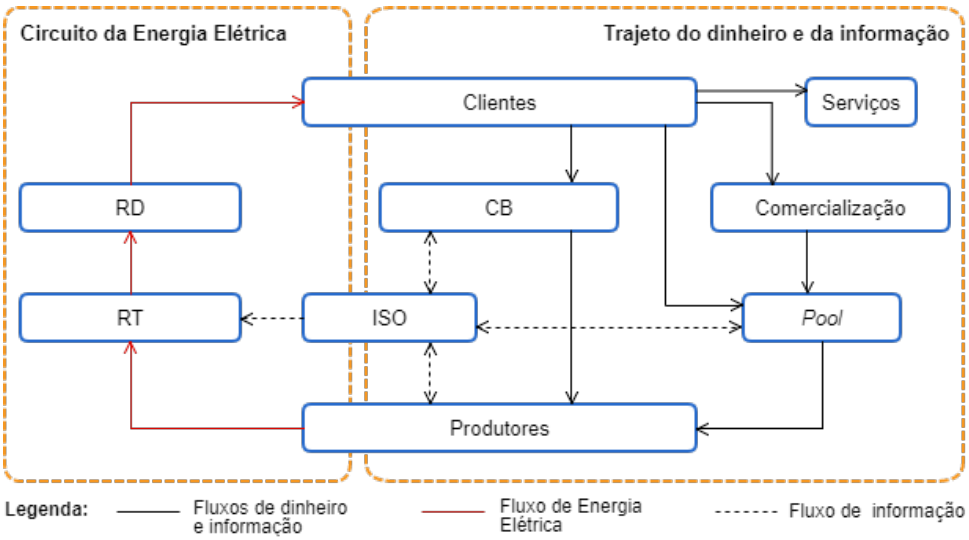


Figura 4.3: Circuito da Energia elétrica e trajeto dinheiro e informação [13]

4.1.1 SE em Portugal

Com a primeira grande reestruturação do SE em 1995, criaram-se as condições para a coexistência de um Mercado Liberalizado (ML) e um Mercado Regulado (MR). Associou-se o MR ao Sistema Elétrico de Serviço Público ou Vinculado (SEP) e o ML ao Sistema Elétrico Independente (SEI). A ERSE regulava o SEP, que integrava os produtores vinculados, a entidade concessionária da RNT e os distribuidores vinculados. O SEI, por sua vez, englobava o Sistema Elétrico Não Vinculado (SENV) e o os PRE. Esta estrutura é apresentada esquematicamente na figura 4.4.

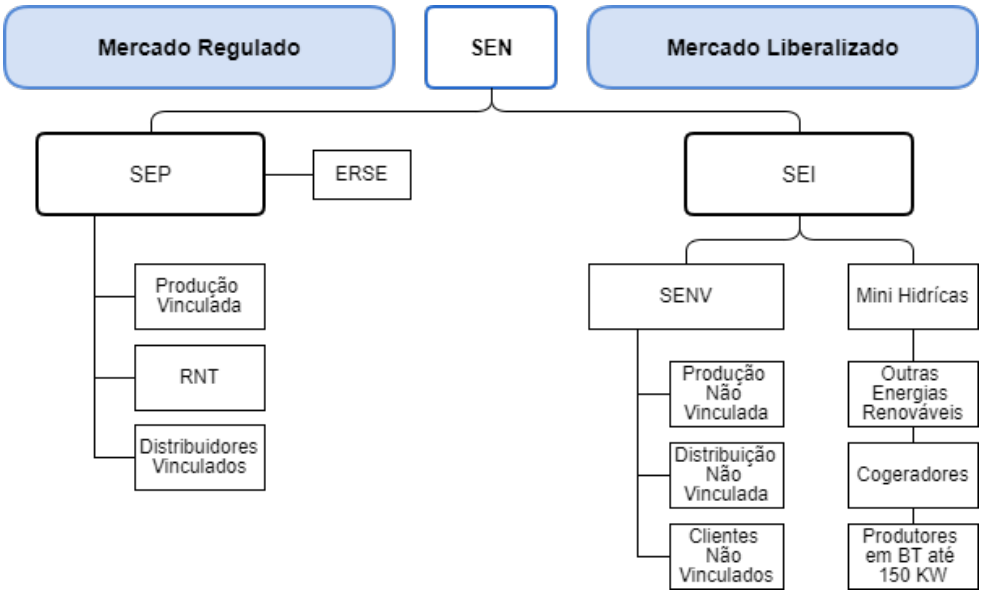


Figura 4.4: Estrutura do SEN em 1995 [14]

Com a RCM nº 169/2005, foi aprovada a ENE, apontando ao aprofundamento da liberalização e promovendo a concorrência nos mercados energéticos. O Decreto-Lei (DL) nº 29/2006 estabeleceu a nova base estrutural para o SEN, concretizando a ENE. As alterações foram ainda suportadas pelos DL nº 172/2006 e DL nº 264/2007. Definiram-se regras gerais aplicáveis às atividades de produção, transporte, distribuição e comercialização, bem como, a organização dos mercados de eletricidade. Estas indicações transpuseram para a legislação nacional os princípios da Diretiva nº 2003/54/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho.

A nova estrutura aponta a um SEN integrado, com as atividades de produção e comercialização a serem exercidas em regime de livre concorrência, mediante atribuição de licença. As atividades de transporte e distribuição são exercidas através da atribuição de concessões de serviço público.

A Produção passa a dividir-se em dois regimes distintos:

- PRO, com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos;
- PRE, através de fontes de energia renováveis e cogeração.

Esta atividade tornou-se de acesso livre, abandonando-se a lógica de planeamento centralizado dos centros electroprodutores, que realizava uma otimização baseada nos custos variáveis de produção de cada centro. Esta passa a resultar de uma lógica de mercado.

Anteriormente, praticamente toda a produção assentava na existência de contratos de aquisição de longo prazo (CAE), que se realizavam entre cada centro electroprodutor e um comprador único, que garantia o aprovisionamento de energia para fornecer à maioria dos consumidores finais.

O objetivo de atingir um referencial de mercado para o SEN, é perseguido com a introdução da liberalização, bem como, da abertura da atividade da produção à concorrência. Deve-se introduzir as centrais elétricas portuguesas, incluindo as que detinham CAE, nos mecanismos de oferta em mercados organizados. Surgiu, assim, um mecanismo que, respeitando condições contratualmente estabelecidas, permite a extinção dos CAE, preservando o equilíbrio contratual associado aos mesmos. Este mecanismo designa-se por Mecanismo de Manutenção de Equilíbrio Contratual (CMEC).

Para o transporte de eletricidade, exercido através da exploração da RNT, é estabelecida uma única concessão em exclusivo e em regime de serviço público. A respetiva concessionária pode relacionar-se comercialmente com os utilizadores das redes constantes da RNT (Alta tenção (AT) e Muito alta Tensão (MAT)). É através de tarifas reguladas pela ERSE que a entidade é remunerada por essa utilização. Em Portugal, a concessão está entregue à REN SA. A exploração desta rede implica a função do Operador do Sistema, realizando a gestão técnica global do sistema que deve garantir a continuidade e segurança de abastecimento e o funcionamento integrado e eficiente do sistema, conseguido através da coordenação sistémica das instalações de produção e de distribuição.

A atividade de Distribuição em Portugal, que inclui as redes de AT e Média Tensão (MT) e ainda as redes de distribuição de Baixa Tensão (BT), é concessionada pela EDP Distribuição. Esta, tal como a concessionária da RNT, também se relaciona comercialmente com os utilizadores das suas redes, sendo remunerada também ela pelas tarifas reguladas da ERSE.

Entre as competências da concessionaria da RD encontram-se a exploração e manutenção da rede em condições de segurança, fiabilidade e qualidade de serviço adequadas, gerindo ainda os fluxos de eletricidade na rede. A interoperacionalidade com as redes a que se encontra ligada e com as instalações dos clientes, devem também ser asseguradas.

A comercialização em Portugal, é uma atividade livre, estando, porém, sujeita a licença. Esta define direitos e deveres, para que se atinja a maior transparência possível. Os comercializadores estão habilitados a comprar e vender energia, pagando as tarifas reguladas pela ERSE, para assim terem acesso às redes de transporte e distribuição. Os consumidores podem, cingindo-se às condições do mercado, escolher o seu comercializador sem custos adicionais. Poderão optar pelo de ultimo recurso, CUR (no caso de operar em MR), ou livre (opera em ML). O objetivo do CUR é assegurar o fornecimento de eletricidade a todos os consumidores, respeitando um regime de tarifas e preços regulados. Atualmente as funções de CUR são exercidas por uma empresa do grupo EDP, a EDP Serviço Universal. Como já referido, no ML atuam diversas empresas.

Esta estrutura mais recente pode ser observada, esquematicamente, na figura 4.5.

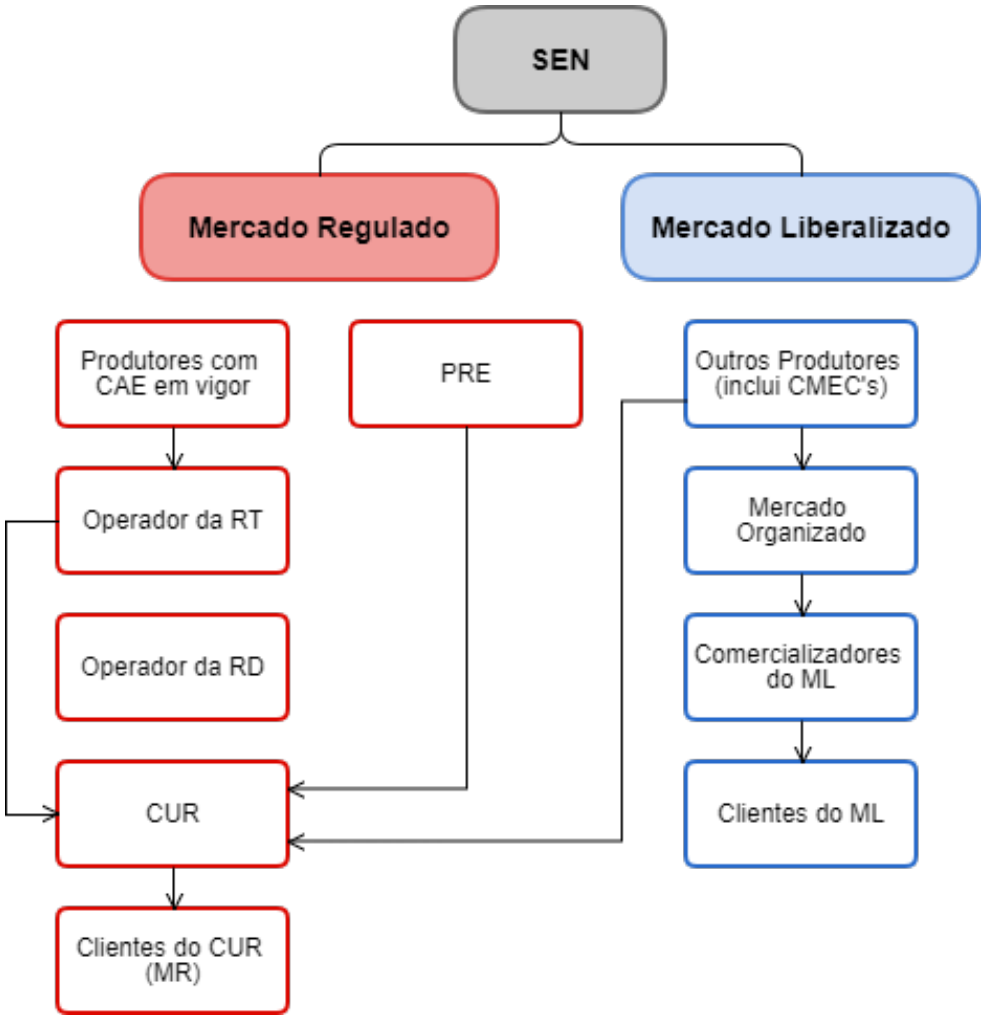


Figura 4.5: Nova estrutura do SEN [14].

4.2 Regulamentação

Com a Liberalização e Desverticalização do SE, foi necessário estabelecer regulamentos que cobrissem áreas diversas, de modo a dar resposta a problemas da esfera pública, entre entidades juridicamente independentes, e que antes eram internos às empresas verticalmente integradas.

Em Portugal, na sequência desse processo, foram emitidos pela ERSE e pela DGEG, diversos regulamentos, de acordo com as competências previstas pela legislação publicada em 1995 (Decretos-Leis nº 182/95 a 188/95 de 27 de Julho) [13].

Os regulamentos referidos são os seguintes:

- Regulamento de Operação das Redes;
- Regulamento de Acesso às redes e às Interligações (RARI);
- Regulamento da Rede de Transporte (RRT);
- Regulamento da Rede de Distribuição (RRD);
- Regulamento Tarifário;
- Regulamento de Relações Comerciais (RRC);
- Regulamento de Qualidade de Serviço;
- Regulamento de Mediação e Conciliação de Conflitos.

O Regulamento de Operação das redes incide particularmente sobre o Gestor Técnico Global do Sistema, que assegura o funcionamento coordenado das instalações do SEN, e das instalações ligadas a este sistema.

O RRT visa estabelecer as condições técnicas de exploração da RNT, de ligação dos utilizadores à RNT e de exploração da interface entre as instalações dos utilizadores e a RNT. São estabelecidos, ainda um conjunto de direitos, deveres e obrigações da entidade concessionária da RNT, bem como, padrões de segurança para planeamento da mesma.

Por sua vez, o RRD ditas as condições técnicas de exploração das redes de distribuição, bem como as de ligação de instalações produtoras e consumidoras a estas redes.

Para definir as condições técnicas e comerciais para o acesso às redes e às interligações, foi redigido o RARI, que aborda ainda matérias como: informação a prestar pelos operadores das redes, ajustamento de perdas e capacidade de gestão das interligações, entre outras.

O RQS abrange uma área muito sensível, prendendo-se com a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Regulamenta a continuidade de serviço, a qualidade da energia elétrica, já abordada e a qualidade comercial.

4.3 Sistema Tarifário

Como referido anteriormente a existência de um Regulamento Tarifário permite estabelecer uma metodologia de cálculo das tarifas a aplicar à cadeia de valor do SEN, apresentada na figura 4.6 Assim, o Regulamento Tarifário especifica os aspetos relativos a:

- Estrutura tarifária;
- Proveitos permitidos às empresas reguladas do setor;
- Procedimentos de fixação;

- Alteração e publicitação das tarifas;
- Obrigações em matéria de informação para com a ERSE.

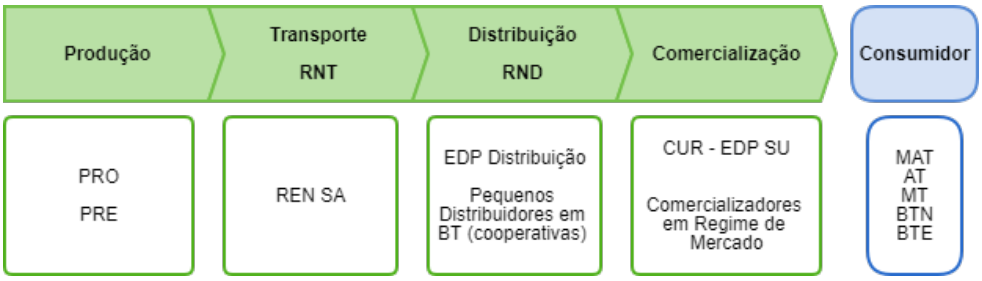


Figura 4.6: Cadeia de Valor do SEN.

Ao longo da cadeia são gerados custos, relativos às diferentes atividades, que se refletem nas tarifas definidas pela ERSE, de acordo com o Regulamento. Estas são publicadas anualmente, como referido.

Para remunerar as entidades pertencentes à cadeia de valor do SEN, são aplicadas tarifas regidas pelo princípio da aditividade tarifária. Os preços a serem suportados pelo Consumidor resultam da adição dos preços das tarifas por atividade, que são aplicáveis em cada nível de tensão e opção tarifária. Existe a garantia de inexistência de subsídios cruzados. Hoje em dia as tarifas combinam-se em Tarifas de Venda a Clientes Finais (TVCF) ou de Ultimo Recurso (TUR) e Tarifa de Venda do Comercializador de Mercado. Ambas as tarifas se dividem em três parcelas tarifarias, a serem pagas pelos consumidores finais:

- Tarifa de Energia (TE): proveitos da atividade de compra e venda de energia elétrica, de modo a recuperar os custos de aquisição de energia elétrica para fornecimento de clientes;
- Tarifa de Comercialização (TC): margem de ganho do comercializador pelo serviço prestado;
- Tarifa de Acesso Às Redes (TAR): São pagas por todos os consumidores de energia elétrica, independentemente do comercializador, sendo publicadas anualmente pela ERSE. Esta tarifa divide-se em três tarifas simples:

- Tarifa de Uso Global do Sistema (TUGS): proveitos da atividade de Gestão Global do Sistema, visando recuperar custos com a operação do sistema e custos derivados de aplicação de políticas energéticas, ambientais ou de interesse económico.

- Tarifa de Uso da Rede de Transporte (TURT): proveitos da atividade de Transporte de energia elétrica, retornando custos de operação e manutenção das RT.

- Tarifa de Uso da Rede de Transporte (TURT): proveitos da atividade de Transporte de energia elétrica, retornando custos de operação e manutenção das RT.

No MR todas as tarifas são fixadas anualmente pela ERSE, enquanto que no ML os consumidores negoceiam a TE e a TC com o seu comercializador, pagando as TAR definidas pela ERSE, como já referido. A negociação torna possível adaptar o tarifário ao tipo e necessidade de consumo de cada utilizador. No MR, o CUR aplica a TVCF, que resulta da adição das TAR com a TE e a TC. Assim, podemos observar nas figuras 4.7 e 4.8 a constituição das tarifas para o MR e o ML, respetivamente.

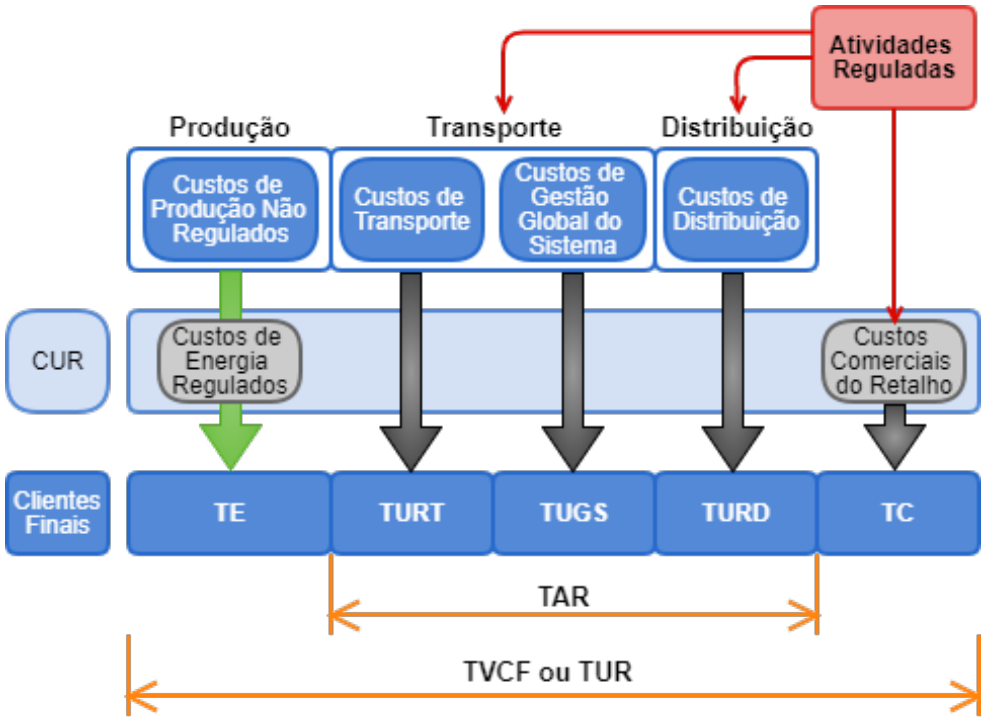


Figura 4.7: Tarifa de Venda a clientes Finais – Estrutura Tarifaria do MR [15].

Como se pode observar na figura 4.7 temos que:

$$TVCF = TE + TAR + TC \tag{4.1}$$

Sendo que:

$$TAR = TURT + TUGS + TURT \tag{4.2}$$

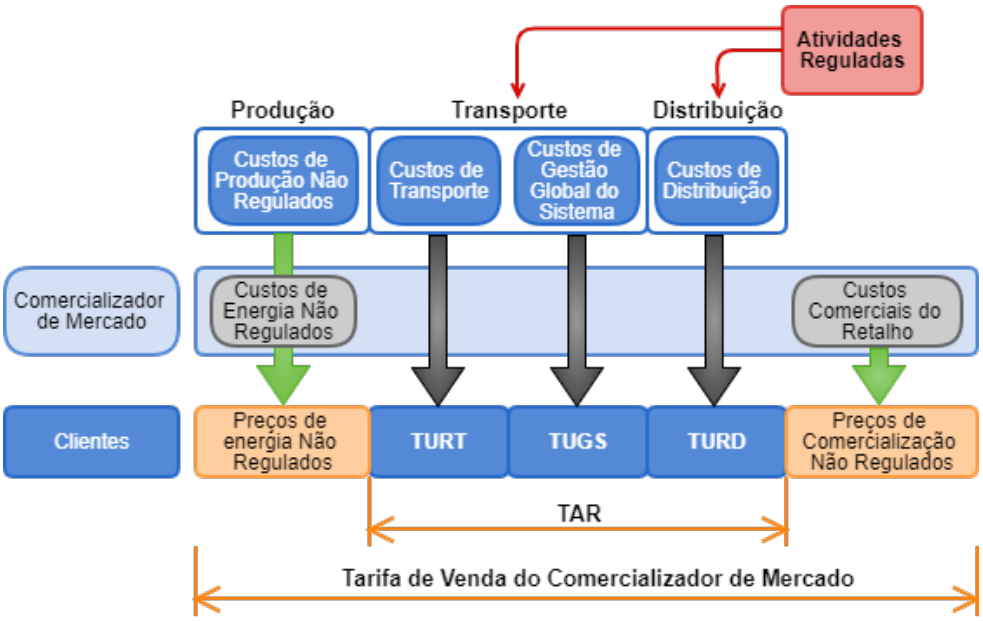


Figura 4.8: Tarifa de Venda do Comercializador de Mercado – Estrutura Tarifária do ML [15].

Como já referido, no ML os consumidores negoceiam os Preços de energia não regulados (P_{enr}) e os Preços de comercialização não regulados (P_{cnr}) com os comercializadores pelo que vem que a Tarifa de Venda do Comercializador de Mercado (TVCM):

$$TVCF = P_{\text{enr}} + TAR + P_{\text{cnr}} \tag{4.3}$$

4.4 Gestão da Fatura de Eletricidade

Uma correta gestão da fatura energética é fundamental quando se procura otimizar a eficiência energética. Existe um conjunto variado de conceitos importantes aquando da análise do tarifário de um consumidor, e no caso desta dissertação, da EASR.

4.4.1 Tarifários

Em Portugal os tarifários estão definidos para diferentes níveis de tensão de abastecimento de energia elétrica. Os diferentes níveis constam da tabela 4.2.

Tabela 4.2: Níveis de Tensão considerados na Faturação de eletricidade [10]

Nível de Tensão	**Valor Eficaz de Tensão entre fases (kV)**	**Potência Contratada (kW)**
MAT	> 110	-
AT	45 < Vef $\leq$ 110	-
MT	1 < Vef $\leq$ 45	-
BTE	Vef $\leq$ 1	Pcont > 41,4
BTN	Vef $\leq$ 1	Pcont $\leq$ 41,4

4.4.2 Períodos Tarifários

Para o estabelecimento das tarifas importa, também, conhecer os períodos instituídos de entrega de energia elétrica. Existem os períodos trimestrais e os períodos horários.

Os períodos trimestrais são os seguintes:

- Período I: de 1 de Janeiro a 31 de Março;
- Período II: de 1 de Abril a 30 de Junho;
- Período III: de 1 de Julho a 30 de Setembro;
- Período IV: de 1 de Outubro a 31 de Dezembro.

Estes são ainda agrupados consoante duas épocas distintas, com base nas diferentes horas legais: Inverno (I e IV) e Verão (II e III).

Os períodos horários são classificados em:

- Super Vazio (SV): horas com consumo muito reduzido, equivalente a uma tarifa reduzida;
- Vazio Normal (Vn): horas com consumo reduzido, mas superior ao das horas de SV, equivalente a uma tarifa também um pouco mais elevada que em SV;
- Cheia (C): horas de consumo considerável de eletricidade, aumentando a tarifa;
- Ponta (P): horas com maior consumo de energia elétrica, verificando-se a tarifa máxima.

Para efeitos de estabelecimento de Tarifas, os períodos de C e P podem ainda ser designados como períodos Fora do Vazio (FV), enquanto os períodos de Vn e SV constituem um agregado designado Vazio (V). Assim, define-se o tipo de ciclo horário de consumo de energia, representando as horas correspondentes a um determinado tipo de energia, consoante o tipo de regime:

- Simples;
- Bi-Horário: FV e V;
- Tri-Horário: P, C e V;

- Tetra-Horário: P, C, Vn e SV.

Os Períodos Horários de entrega de energia elétrica a clientes finais são previstos no Regulamento Tarifário e diferenciam-se em Ciclos: Diário, Semanal e Semanal Opcional. O ciclo diário possui os Períodos Horários iguais em todos os dias do ano, enquanto que para o ciclo semanal, esses períodos diferem entre dias uteis e fim de semana. Os Períodos Horários em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas determinam-se considerando as características elétricas de casa região, nomeadamente quanto à evolução do diagrama de carga. Este último conceito será abordado posteriormente neste documento.

Em Portugal Continental, para clientes finais alimentados em MT, como é o caso da EASR, estão disponíveis o Ciclo Semanal e o Ciclo Semanal Opcional [29]. É ainda importante considerar que para Clientes em MT, AT e MAT, com ciclo mensal os feriados nacionais são considerados como períodos de vazio.

Tabela 4.3: Ciclo Semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental [29]

Ciclo Semanal		Hora	Duração	Hora	Duração
Dias	Período	legal de Inverno	(h)	legal de Verão	(h)
Segunda-Feira a Sexta-Feira	P	09.30 – 12.00 h	5	09.15 – 12.15 h	3
		18.30 – 21.00 h		-	
	C	07.00 – 09.30 h	12	07.00 – 09.15 h	14
		12.00 – 18.30 h		12.15 – 24.00 h	
		21.00 – 24.00 h		-	
	Vn	00.00 – 02.00 h	3	00.00 – 02.00 h	3
		06.00 – 07.00 h		06.00 – 07.00 h	
	SV	02.00 – 06.00 h	4	02.00 – 06.00 h	
Sábado	C	09.30 – 13.00 h	7	09.00 – 14.00 h	7
		18.30 – 22.00 h		20.00 – 22.00 h	
	Vn	00.00 – 02.00 h	13	00.00 – 02.00 h	13
		06.00 – 09.30 h		06.00 – 09.00 h	
		13.00 – 18.30 h		14.00 – 20.00 h	
		22.00 – 24.00 h		22.00 – 24.00 h	
	SV	02.00 – 06.00 h	4	02.00 – 06.00 h	4
Domingo	Vn	00.00 – 02.00 h	20	00.00 – 02.00 h	20
		06.00 – 24.00 h		06.00 – 24.00 h	
	SV	02.00 – 06.00 h	4	02.00 – 06.00 h	

Tabela 4.4: Ciclo Semanal Opcional para consumidores e MT, AT e MAT em Portugal Continental [29]

Ciclo Semanal		Hora	Duração	Hora	Duração
Dias	Período	legal de Inverno	(h)	legal de Verão	(h)
Segunda-Feira a Sexta-Feira	P	17.00 – 22.00 h	5	14.00 – 17.00 h	3
	C	00.00 – 00.30 h	12	00.00 – 00.30 h	14
		07.30 – 17.00 h		07.30 – 14.00 h	
		22.00 – 24.00 h		17.00 – 24.00 h	
	Vn	00.30 – 02.00 h	3	00.30 – 02.00 h	3
		06.00 – 07.30 h		06.00 – 07.30 h	
	SV	02.00 – 06.00 h	4	02.00 – 06.00 h	4
Sábado	C	10.30 – 12.30 h	7	10.00 – 13.30 h	7
		17.30 – 22.30 h		19.30 – 23.00 h	
	Vn	00.00 – 03.00 h	13	00.00 – 03.30 h	13
		07.00 – 10.30 h		07.30 – 10.00 h	
		12.30 – 17.30 h		13.30 – 19.30 h	
		22.30 – 24.00 h		23.00 – 24.00 h	
	SV	03.00 – 07.00 h	4	03.30 – 07.30 h	4
Domingo	Vn	00.00 – 04.00 h	20	00.00 – 04.00 h	20
	SV	08.00 – 24.00 h	4	08.00 – 24.00 h	4
		04.00 – 08.00 h		04.00 – 08.00 h	

Os tarifários comportam ainda o Tipo de Utilização, referente à quantidade de energia consumida durante um determinado período de tempo. Tem-se 3 tipos: Longas utilizações, Médias Utilizações e Curtas Utilizações.

4.4.3 Diagrama de Carga

O Diagrama de Carga ilustra a evolução da potência ativa consumida (carga) ao longo do tempo, como das horas do dia e dos dias do ano.

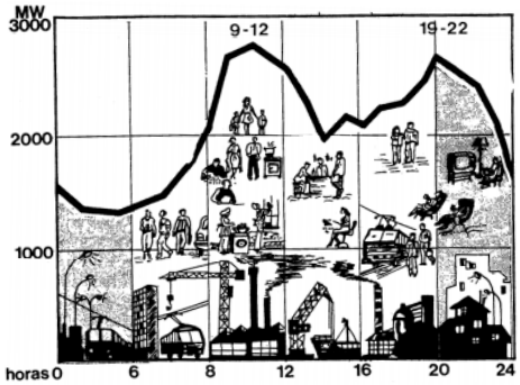


Figura 4.9: Diagrama de Cargas típico com exemplo de atividades de consumo [10].

Na análise destes diagramas, deve-se ter em conta alguns conceitos importantes como os fatores de carga, diversidade e simultaneidade. Importa ainda conhecer as condições que influenciam a sua forma, tal como: época do ano, dia da semana, hora do dia, condições atmosféricas, acontecimentos especiais e legislação específica.

De entre os processos mais utilizados pelas companhias de eletricidade para melhorar a forma do diagrama de cargas, encontram-se:

- A tarifação múltipla da energia elétrica;
- O corte de cargas não essenciais em determinadas horas do dia;
- Taxa de Potência;
- Microprocessadores programados para o comando automático do consumo energético em grandes edifícios e centros comercias, através do corte automático de cargas não essenciais (aquecimento ambiente, nível de iluminação, entre outros).

O consumo é estimulado nas horas de vazio e desincentivado nas horas de ponta.

Relativamente à gestão de consumos, sabe-se que esta pode ser: global (equipamento da EDP), setorial e/ou por ponto de utilização (equipamento próprio). O equipamento utilizado para obter medidas pode atuar numa base mensal, semanal ou diária. Quanto aos sistemas automáticos de monitorização e registo, podem atuar de hora em hora, de 15 em 15 minutos ou continuamente.

A previsão de um diagrama de cargas pode ser realizada a partir de diagramas anteriores e com recurso a técnicas de regressão.

Do ponto de vista elétrico as cargas podem ser caraterizadas consoante a potência, a simetria, a sua dependência em relação à frequência e tensão e pelo tipo de uso (aleatório ou regular). Assim tem-se cargas: industriais (cíclicas ou motores) e domésticas.

4.4.4 Termo Tarifário Fixo

O termo tarifário fixo trata-se, como nome indica, de uma parcela fixa da fatura e é dependente da tarifa de contrato, correspondendo ao preço da potência contratada. Aplica-se o termo em contratos de MAR, AT, MT e BTE. Em BTN assume a designação de termo de potência. Define-se em Euros por mês [10].

4.4.5 Potência em Horas de Ponta

À potência ativa média consumida nas horas de ponta atribui-se o termo de Potência em Horas de Ponta. É calculada através do quociente entre a energia ativa consumida no mês nas horas de ponta (kWh/mês) e o número de horas de ponta desse mesmo mês (h/mês).

O pagamento desta parcela funciona como incentivo à deslocação de consumos para as horas de V, penalizando o uso da rede nas horas de maior procura de energia [10].

4.4.6 Potência Tomada

O maior valor da potência ativa média, registado em qualquer período continuo de 15 minutos, durante o intervalo de tempo respeitante à fatura, é designado de Potência Tomada.

4.4.7 Potência Contratada

A Potência Contratada corresponde ao valor instantâneo máximo que uma instalação consumidora está habilitada a receber. Este é um valor que é definido ainda aquando do dimensionamento da instalação, na fase de projeto. Assim, nas faturas de eletricidade é incluído um preço de potência contratada, que reflete os custos potenciais nas RD associados à disponibilização da potência requerida por cada consumidor.

Para pontos de fornecimento em MAT, AT, MT e BTE, a potência contratada é faturada com base na potência tomada e na potência instalada. É calculada tendo por base a máxima potência tomada dos últimos 12 meses, incluindo o mês a que a fatura diz respeito. Notar que a potência contratada (kW) não pode ter um valor inferior a 50% da potência instalada (em kVA). Esta ultima pode ser medida pela soma das potências nominais dos transformadores alocados ao ponto de entrega. Convertendo kVA para kW, tem-se que a potência contratada não pode ser inferior a 46,5% da potência instalada, em kW.

Para instalações alimentadas em BTN, a potência contratada consiste na potência aparente colocada à disposição [10].

4.4.8 Energia Ativa

A energia ativa corresponde ao consumo energético, sendo por norma representado em kWh. Na fatura, aparece normalmente desagregada pelos diferentes períodos horários. Por exemplo, no caso de uma faturação tetra-horária, os preços diferenciam-se nos 4 períodos horários existentes (P, C, VN e SV). Os preços relativos a esta energia são definidos como €/kWh, sendo no ML, constituídos por duas componentes: "preço" da energia, dependente do comercializados, e as TAR, definidas pela ERSE e independentes do comercializador.

4.4.9 Energia Reativa

Parcela da fatura que corresponde ao consumo de energia reativa, expressa em kVArh. Esta energia não é faturada em BTN, sendo-o nos restantes níveis de tensão de fornecimento.

Os principais equipamentos consumidores de energia reativa são as cargas magnéticas, como motores transformadores, balastros, entre outros. Em Portugal, a energia reativa indutiva (consumida) será faturado caso o seu valor, nas horas de FV, ultrapassar os 30% do valor da energia ativa nesse período. Nas horas de V a energia reativa faturada passa a ser a capacitiva (fornecida). No capitulo 6 esta temática é abordada com mais detalhe [10].

4.5 Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais em MT

Com a extinção das tarifas reguladas de venda de energia elétrica, em 2011, aos clientes com consumos em MAT, AT, MT e BTE, passou-se a aplicar uma tarifa transitória de venda aos clientes finais que continuaram a ser fornecidos pelo CUR. Em 2012, estabeleceu-se o regime de extinção dessas mesmas tarifas para consumidores em BTN, adotando-se mecanismos que garantissem a estabilidade dos clientes finais mais vulneráveis economicamente. Durante este regime transitório, aplica-se uma tarifa transitória aplicada pela ERSE, sendo o CUR obrigado a abastecer os clientes finais ainda sem contrato em mercado livre.

Estas tarifas são determinadas através da soma das TE com as TC e as TAR. Apresenta-se no Anexo B (tabela B.1) o quadro com os valores descriminados.

Capítulo 5

Energia Reativa e Correção de Fator de Potência

Em caso de consumo de energia reativa indutiva, o fator de potência poderá cair abaixo do limiar de não faturação que se situa num valor de 0,9578. Caso isso aconteça este consumo incrementará a fatura energética do edifício. Assim a compensação do fator de potência é importante para reduzir as perdas elétricas e os gastos, contribuindo para a eficiência energética.

5.1 Energia Reativa

As cargas que possuem um funcionamento assente nas variações de campos magnéticos (motores, transformadores, lâmpadas de descarga, etc.) consomem energia reativa de uma forma expressiva, sendo indispensável para o seu funcionamento.

A intensidade da corrente elétrica (I) encontra-se desfasada, geralmente em atraso, relativamente à tensão (V ou U), de um ângulo (φ), dividindo-se em duas componentes (ativa e reativa).

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \tag{5.1}$$

Onde:

- I: corrente total;
- Ia: componente ativa da corrente;
- Ir: componente reativa da corrente.

Tem-se ainda que:

$$I_a = I \times \cos\varphi \tag{5.2}$$

$$I_r = I \times \sin\varphi \tag{5.3}$$

Analogamente tem-se a decomposição das potências:

$$S = \sqrt{S_a^2 + S_r^2} = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{5.4}$$

Onde:

- S: potência aparente total;
- P: componente ativa da potência;
- Q: componente reativa da potência.

Vem que:

$$P = S \times \cos\varphi \tag{5.5}$$

$$Q = S \times \sin\varphi \tag{5.6}$$

P é a componente da potência que realiza trabalho, enquanto Q se destina, como já referido a criar e manter o campo magnético de cargas indutivas.

5.2 Fator de Potência

O fator de potência fornece a indicação da percentagem de energia aparente total fornecida que é, efetivamente, utilizada para realizar trabalho. É definido e determinado pelo ângulo formado entre a potência ativa e a aparente:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \tag{5.7}$$

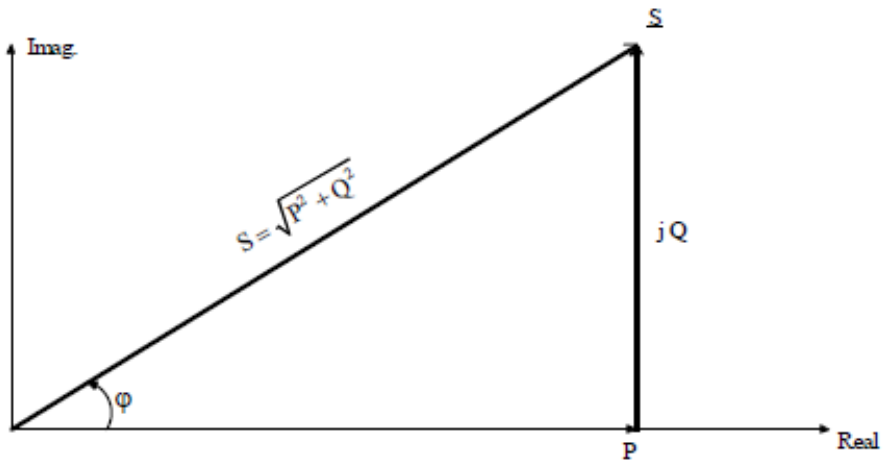


Figura 5.1: Triângulo das Potências

O fator de potência está intimamente ligado com o consumo de Q na instalação. Quando se verifica o consumo de Q designa-se o fator de potência como indutivo, enquanto que na ocorrência de fornecimento de Q se designa como capacitivo.

Como se pode observar através da formula 5.7 e da figura 5.1, quanto menor for o valor de P, menor será o fator de potência. Uma vez que quanto menor P, maior Q, um valor mais elevado deste provocará um valor mais reduzido do fator de potência.

5.2.1 Consequências de um baixo fator de potência

Elevados consumos de Q acarretam como já observado, baixos fatores de potência, que levam normalmente a inconvenientes que se traduzem geralmente em piores condições de exploração da instalação elétrica.

5.2.1.1 Aumento de Perdas

As perdas por efeito joule são proporcionais ao quadrado da intensidade da corrente, pelo que incorrerão num aumento, sendo que as perdas elétricas numa RD determinam-se pela expressão 5.8.

$$Perdas = 3 \times R \times I^2 = 3 \times R \times \left(\frac{S}{U}\right)^2 = 3 \times R \times \left(\frac{\frac{P}{\cos\varphi}}{U}\right)^2 \tag{5.8}$$

Onde:

- R: Resistência elétrica do circuito atravessado pela corrente, em Ω;
- I: corrente, em A;
- U: tensão da rede, em V;

É possível observar outra relação para as perdas elétricas, variando estas com o quadrado da potência aparente. Uma vez que a diminuição do fator de potência conduz a um aumento da potência aparente consumida, as perdas também aumentarão.

A compensação do fator de potência (para próximo da unidade) pode, assim, reduzir as perdas de energia.

5.2.1.2 Redução da Disponibilidade Elétrica dos Condutores

O aumento da corrente, consequente da redução do fator de potência, leva a que a secção do cabo aumente, de modo a transportar a mesma potência. Estabeleceu-se um fator multiplicativo para compensar o aumento de carga nos condutores, que permite determinar a secção correspondente a esse acréscimo (tabela 5.1).

Tabela 5.1: Aumento da secção do condutor em função do fator de potência

Fator de Potência	Fator multiplicativo
1	1,00
0,8	1,25
0,6	1,67
0,4	2,50

5.2.1.3 Aumento da Queda de Tensão

Visto que a queda de tensão é diretamente proporcional à intensidade da corrente (expressão 5.9), a diminuição do fator de potência levará a um aumento da queda de tensão, uma vez que a corrente aumenta, como já referido.

$$\Delta U = k \times Z \times I \tag{5.9}$$

- ΔU: queda de tensão
- k: fator que varia consoante: sistema monofásico (k=2) e sistema trifásico (k=3)
- Z: Impedância

5.2.1.4 Redução da disponibilidade elétrica e aumento de aquecimento dos transformadores

A plena utilização de uma instalação elétrica fica inviabilizada com a sobrecarga da mesma com Q, uma vez que a potência disponível fica condicionada.

A influência do fator de potência é bastante significativa no funcionamento dos transformadores, como se pode observar na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Potência útil máxima absorvida pelo transformador (para exemplo de 630 kVA) consoante o fator de potência

Transformador de 630 kVA	
Fator de Potência	**Potência útil disponível (kW)**
1,0	630
0,8	504
0,5	315

5.2.1.5 Aumento da Potência Aparente

Uma vez que a redução do fator de potência de traduz num aumento da potência aparente utilizada, como já referido, tem influência negativa quando a potência contratada for em função da potência aparente, levando a sobrecustos pelo aumento inerente da potência contratada.

5.2.1.6 Aumento da Potência Aparente

A sobrecarga causada pelo aumento da corrente e da queda de tensão, leva a uma redução da vida útil de componentes do sistema, como motores e transformadores.

5.2.1.7 Agravamento de Custos

O aumento de perdas de uma RD, que alimenta a instalação consumidora com baixo fator de potência, é suportado pelo distribuidor, sendo que a Q consumida será incluída na fatura de eletricidade, sendo faturada. Isto pode ser evitado com a redução de Q para dentro de valores limite de faturação, que levará a um consequente aumento do fator de potência médio.

5.3 Energia Reativa Faturada

O Despacho nº 7253/2010 da ERSE define as regras relativas à faturação de Q, estabelecida pelo Regulamento de Relações Comerciais (RRC) para os pontos de entrega em MAT, AT, MT e BTE.

Para a faturação segue-se os seguintes preceitos:

- Nas horas FV, a Q indutiva, medida em cada período de integração (consoante seja diário ou mensal), que exceda 30% da energia ativa consumida nesse mesmo período é objeto de faturação;
- A Q capacitiva, por sua vez, é "toda" sujeita a faturação. Segundo o RRC, artigo 128, a faturação deste tipo Q não é obrigatória. "A energia reativa capacitiva medida em cada período de integração nas horas de vazio pode ser objeto de faturação".

Dado que a Q é faturada como sendo uma parcela relativa ao uso das redes é incluída pelo comercializador na fatura de eletricidade. No entanto, os custos associados são dependentes do funcionamento da instalação e não do comercializador responsável pelo fornecimento de energia. Sendo assim, o cliente é responsável por implementar as medidas possíveis para evitar que a Q seja faturada. Estas medidas podem passar pela utilização de equipamentos para correção do fator de potência da instalação, como baterias de condensadores.

5.3.1 Regras de Faturação de Q

A faturação de Q indutiva conta com alguns preceitos:

- Progressividade dos preços, sendo praticados em três escalões de faturação, de modo a refletir a natureza progressiva dos custos inerentes aos consumidores na rede, pela não compensação local da energia reativa;
- Fixação dos preços simples e transparente, de modo a assegurar a participação de todas as partes interessadas no processo;

- Incentivo à eficiência no consumo, com o preço do ultimo escalão de faturação a representar um incentivo à utilização eficiente da rede.

Os três escalões referenciados acima, são definidos em função da Q medida em cada período de integração, em percentagem da P medida no mesmo período. Para isso é necessário conhecer o valor da tangente do ângulo de desfasamento entre a corrente e a tensão (tan φ) que se determina pela expressão 5.10

$$\tan \varphi_{FV} = \frac{Q_{FV}}{S_{FV}} \tag{5.10}$$

Para determinar o encargo total de cada escalão considera-se ainda um fator multiplicativo, fixado pela ERSE no Despacho nº 12605/2010.

Tabela 5.3: Escalões de Faturação de Q indutiva

Escalão	tan φ_{FV}	Fator
-	tan φ_{FV} <0,3	-
1	0,3 $\leq$ tan φ_{FV} <0,4	0,33
2	0,4 $\leq$ tan φ_{FV} <0,5	1,00
3	0,5 $\leq$ tan φ_{FV}	3,00

O limite para o qual Q indutiva não é faturada é de tan φ_{FV} = 0,3 correspondendo a um fator de potência de 0,9578. Mantendo o fator de potência médio acima deste valor, evita-se a faturação desta energia.

A faturação da Q capacitiva aplica-se ao seu fornecimento nas horas de vazio, por períodos de integração. Ao contrario da indutiva toda a energia Q capacitiva é faturada. O preço desta é definido pela ERSE, sendo que em cada período de integração o valor da mesma é dado pela expressão 5.11.

$$Valor\ Faturado\ de\ Q_V\ =\ valor\ unitario\ \times\ Q_{Faturada} \tag{5.11}$$

5.4 Compensação do Fator de Potência

A compensação ou correção do fator de potência é realizada na instalação consumidora, produzindo localmente a Q necessária ao funcionamento da instalação. Com isso, garante-se o fator de potência mínimo ou superior, e evita-se a faturação da Q. Para o efeito, instala-se baterias de condensadores capazes de suprir grande parte das necessidades da instalação, em termos de Q.

Como a responsabilidade do controlo do fator de potência pertence ao cliente, envolve, da sua parte, um investimento nas baterias de condensadores. Este pode ser recuperado através da poupança na fatura mensal de eletricidade. Nesse sentido, é fundamental o correto dimensionamento e escolha da bateria a instalar, sempre com base num estudo económico.

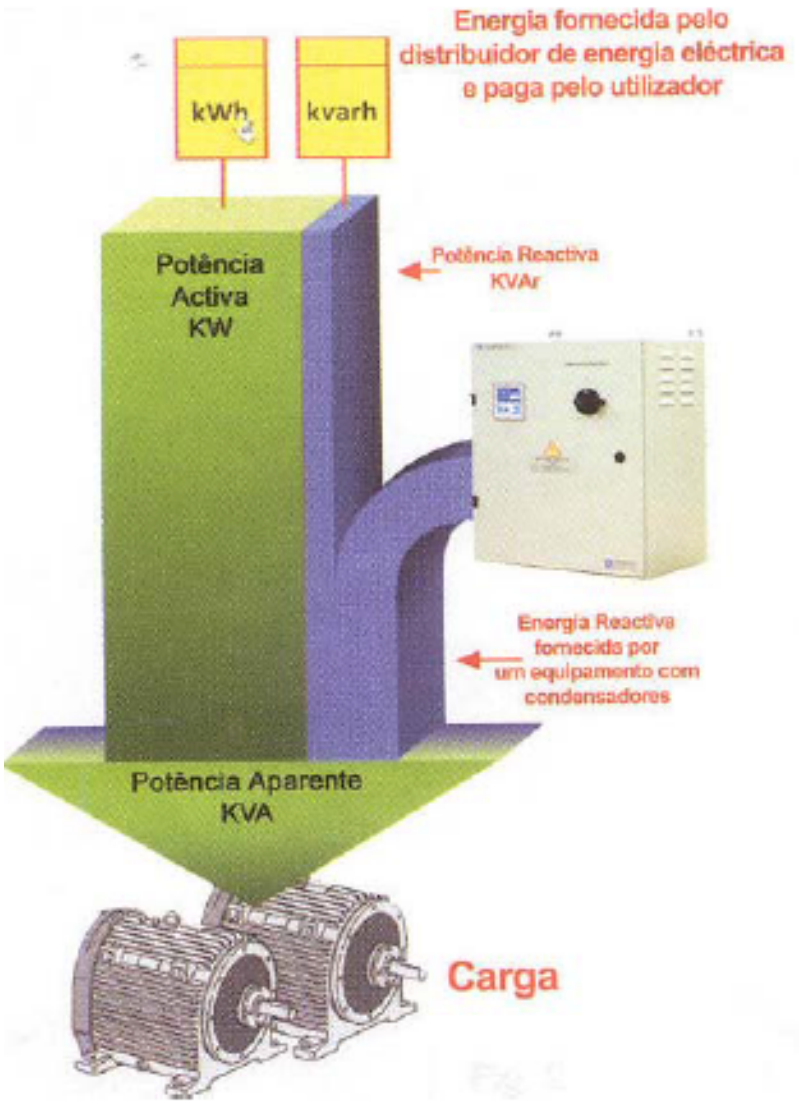


Figura 5.2: Princípio da Compensação do Fator de Potência

5.4.1 Potência de compensação e Tensão da bateria

Para determinar a potência de compensação a instalar, começa-se por considerar que a instalação absorve uma potência aparente (S_1), previa à compensação. Esta alimenta uma carga ativa (P_1) e uma carga reativa (Q_1), sendo que o fator de potência inicial será:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \tag{5.12}$$

Obtém-se a potência reativa inicial:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \frac{Q_1}{P_1} \equiv Q_1 = P_1 \times \tan \varphi_1 \tag{5.13}$$

Considera-se que Pi se mantém constante após a compensação pelo que a potência ativa após a compensação será igual à inicial (P2 = P1). A reativa final assumirá um valor determinado por:

$$Q_2 = P_1 \times \tan \varphi_2 \tag{5.14}$$

Pelo que a bateria de condensadores deverá possuir uma dada Q (Qc) tal que:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \times \tan \varphi_1 - P_1 \times \tan \varphi_2 = P_1 \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \tag{5.15}$$

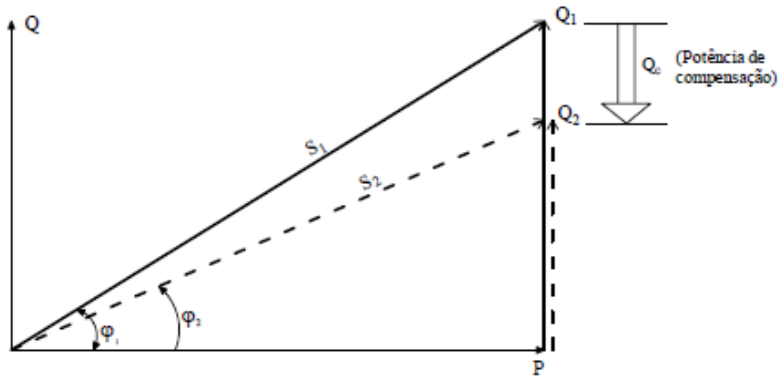


Figura 5.3: Diagrama Vetorial da compensação do fator de potência

O novo fator de potência, cos φ_2, fica então abaixo do limite de faturação.

Outro parâmetro importante no dimensionamento da compensação a realizar é a tensão estipulada da bateria, que influencia o valor estipulado da potência:

$$Q_{bateria} = Q_n \times \left(\frac{U_{bateria}}{U_n} \right)^2 \tag{5.16}$$

Onde:

- $Q_{bateria}$: Q da bateria, em VAr;
- Q_n: potência estipulada da bateria à tensão nomina, em VAr;
- $U_{bateria}$: tensão estipulada da bateria na linha, em V;
- U_n: tensão nominal na linha, em V;

A capacidade não varia com a tensão e a sua reatância capacitiva (x_c) varia apenas com a frequência e não com a amplitude da tensão. Assim pode-se obter a Q para uma bateria trifásica em função de X_c:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \tag{5.17}$$

$$Q_{bateria}\ (ligacao\ em\ triangulo) = \frac{3 \times U^2{}_{bateria}}{X_c} \tag{5.18}$$

$$Q_{bateria}\ (ligacao\ em\ estrela) = \frac{U^2{}_{bateria}}{X_c} \tag{5.19}$$

5.4.2 Equipamentos de compensação

Os equipamentos de de compensação de fator de potência são divididos em dois tipos:

- Baterias de condensadores de capacidade fixa;
- Baterias de condensadores de regulação automática.

Nas baterias de capacidade fixa, os condensadores a utilizar possuem uma idêntica potência unitária. São, geralmente, modulares e podem ser agregados de forma a obter a Q necessária para a compensação. Em funcionamento, a bateria insere a totalidade da potência, não sendo possível regula-la. Neste caso, a ligação ou corte da bateria é feita através de: comando manual (interruptor ou disjuntor), de forma semiautomática (contactor mediante ordem elétrica de um interruptor horário) ou de modo direto (aquando da ligação ou corte do recetor).

Nas baterias de regulação automática é possível regular a Q fornecida pelo conjunto a um perfil de potência necessário no momento. São instaladas, normalmente, com ligação ao QGBT ou aos quadros parciais de uma instalação. As baterias dividem-se em escalões que se permutam automaticamente, em função dos valores de carga da instalação e do fator de potência. É utilizado um relé varimétrico para este processo.

A escolha do tipo de equipamento é condicionada, principalmente, por critérios económicos. Tem-se em conta o investimento nos equipamentos de compensação e a poupança obtida mensalmente com a redução da faturação de Q e das perdas da instalação.

5.4.3 Métodos de Compensação

Existem diversos métodos de compensação consoante a localização dos equipamentos na instalação, sendo eles:

- Compensação global ou central;
- Compensação setorial, parcial ou por grupos;
- Compensação local ou individual;
- Compensação combinada.

A compensação combinada utiliza, simultaneamente, mais que um dos três restantes métodos de compensação.

A escolha do método a aplicar, tal como o tipo de equipamento, será feito, com base em critérios técnicos e económicos.

5.4.3.1 Compensação Global

Na compensação global, instala-se a bateria de condensadores à saída do transformador com ligação ao barramento do QGBT, garantindo a compensação do conjunto da instalação. Este método permite uma adaptação adequada dos escalões de compensação das baterias à Q necessária (compensação automática), mantendo-se o fator de potência constantemente dentro do nível aceitável. É a solução mais económica, uma vez que toda a potência se concentra num ponto só, e considerando o fator de simultaneidade, faz com que grande parte das vezes a Q necessária seja inferior à necessário no método de compensação individual. Possui ainda a vantagem de tornar mais simples alterações futuras.

Como pontos fracos deste método, contam-se maiores perdas e quedas de tensão (em comparação com outros métodos) na rede a jusante do local de instalação da bateria, uma vez que não existe a eliminação da potência reativa nos cabos de alimentação dos vários quadros parciais.

Este método é indicado para grandes instalações elétricas, que possuam grande número de cargas diferentes e regimes de utilização pouco uniformes.

5.4.3.2 Compensação Setorial

Na compensação setorial, a bateria é instalada de maneira a compensar um setor, ou grupo de cargas, sendo ligadas aos barramentos dos quadros parciais da instalação.

Em comparação com a compensação global, reduz a Q nos cabos de alimentação dos quadros parciais, o que leva à diminuição das perdas e quedas de tensão. A potência necessária continua a ser menor que na compensação individual, pelo que é mais económica que esta. No entanto, requer mais investimento que a compensação global.

Indicada caso existam vários setores na instalação com regimes de carga diferentes ou quando a rede é muito extensa.

5.4.3.3 Compensação Individual

Na compensação individual, instala-se as baterias de condensadores junto do equipamento com fator de potência a melhorar.

Este método tem a vantagem de reduzir as perdas energéticas de toda a instalação, o que reduz custos com a energia elétrica e melhora os níveis de tensão em toda a instalação com a redução das quedas de tensão. Pode ainda permitir a redução da secção de alguns dos condutores de alimentação.

Implica um maior investimento que os restantes métodos e a potência de compensação dos equipamentos é de difícil ajustamento com as potências existentes no mercado.

É um método indicado para quando existem cargas de potência significativa face à potência total da instalação.

Capítulo 6

Iluminação

Aquando do estudo da eficiência energética, a iluminação é outros dos aspetos imprescindíveis a ser analisados. Representa uma parte importante dos consumos, e trata-se de um dos principais fatores constituintes de um ambiente de trabalho ou lúdico. Tem influência sobre o conforto, segurança e comunicação, valorizando os espaços.

É importante ter em conta diversos aspetos aquando de um projeto luminotécnico, de modo a potenciar os aspetos referidos anteriormente e evitar a iluminação desajustada e dispendiosa.

É assim fundamental estudar os equipamentos e soluções disponíveis (luminárias, lâmpadas, balastros, entre outros), bem como, as metodologias a aplicar para uma melhor eficiência da iluminação numa instalação elétrica. Existem diversas grandezas luminotécnicas a ter em conta na otimização do sistema.

É neste contexto que surgiu a luminotecnia, ciência que estuda as diferentes formas de produção de luz, bem como, o seu controlo e aplicações [26].

6.1 Tipos de Iluminação

A Iluminação pode ser conseguida de forma natural e artificial, considerando-se ainda um terceiro grupo, designado especial (emergência, sinalização, decorativa e germicida). Esta pode ainda ser discriminada consoante o tipo:

- Geral;
- Localizada;
- Geral e Localizada (2C).

O tipo a utilizar no projeto é selecionado consoante o fim e objetivos do sistema. Por exemplo, quando se pretende obter uma iluminação uniforme, sem que haja necessidades específicas e as luminárias se distribuam normalmente, utiliza-se a iluminação geral. Esta permite uma maior flexibilidade do layout do espaço. Quando se pretende atender a necessidades específicas, com níveis requeridos de iluminância mais elevados e/ou exigentes, opta-se pela iluminação localizada, que

permite uma maior economia de energia, evitando sombras e reflexões prejudiciais. A desvantagem deste tipo de iluminação prende-se com a necessidade de reposicionar as luminárias em caso de alterações à disposição do espaço.

O tipo 2C é uma técnica que permitirá economizar energia e contribuir para o aumento da eficiência energética da instalação, visto permitir manter o nível de iluminação desejado para os locais de trabalho, através da iluminação localizada, ao mesmo tempo que para a iluminação ambiente, aplica um nível mais baixo.

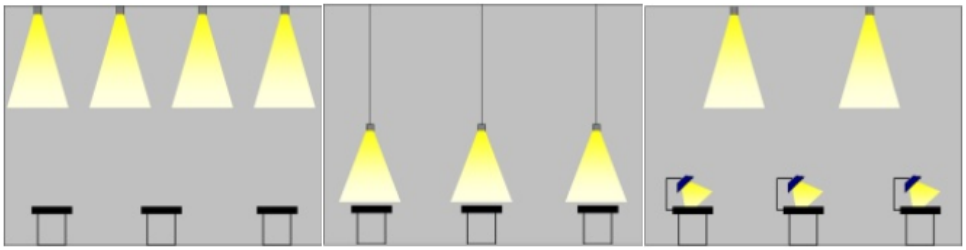


Figura 6.1: Representação dos tipos de iluminação artificial: geral (esquerda), localizada (centro) e 2C (direita).

A Iluminação pode ainda ser classificada quanto ao seu grau de difusão:

- Direta: 90%, ou mais, do fluxo luminoso direcionado para baixo;
- Semidirecta: 60% a 90% do fluxo luminoso direcionado para baixo;
- Indireta: 90%, ou mais, do fluxo luminoso direcionado para cima;
- Semi-indirecta: 60% a 90% do fluxo luminoso direcionado para cima;
- Mista ou difusa: 40% a 60% do fluxo luminoso é direcionado para baixo/cima.

6.2 Propriedades e Grandezas Luminotécnicas

Na luminotecnia existem algumas grandezas fundamentais para o projeto de iluminação. Nesta secção serão abordados esses aspetos.

6.2.1 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso trata-se da quantidade de luz emitida por segundo, em todas as direções, por uma fonte luminosa e ponderada em relação à sensibilidade espetral do olho humano. Ou seja, diz respeito à energia radiante que sensibiliza o olho humano durante um segundo. A unidade do Sistema Internacional (SI) desta grandeza é o lúmen (lm) e é representa pelo símbolo: F ou ϕ. Esta grandeza é importante aquando na comparação de diferentes tipos de lâmpada e consequentemente na escolha de qual aplicar em cada situação.

6.2.2 Intensidade Luminosa

A Intensidade Luminosa é representada por I e a sua unidade SI é a Candela (cd). Trata-se do F compreendido na unidade de ângulo sólido (w) no qual é emitido.

$$I = \frac{\phi}{w} \tag{6.1}$$

No caso de a fonte luminosa irradiar a luz uniformemente, independentemente da direção, F assumiria uma distribuição esférica. Essa homogeneidade é praticamente impossível de conseguir, pelo que, é necessário obter o valor de lm emitidos em cada direção. Estas são representadas por vetores, cujo cumprimento representa I.

O conceito de w define o quociente entre a superfície compreendida sobre uma esfera, centrada no vértice do ângulo e o quadrado do raio dessa esfera. A sua unidade é o esterradiano (sr).

$$w = \frac{S}{r^2} \tag{6.2}$$

O conjunto de ângulos sólidos numa esfera:

$$\frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \tag{6.3}$$

De modo a ser possível representar graficamente a intensidade luminosa, útil na comparação entre fontes luminosas (lâmpadas ou conjunto luminária e lâmpada), podem ser elaborados diagramas fotométricos, como o diagrama polar de I ou o diagrama ortogonal.

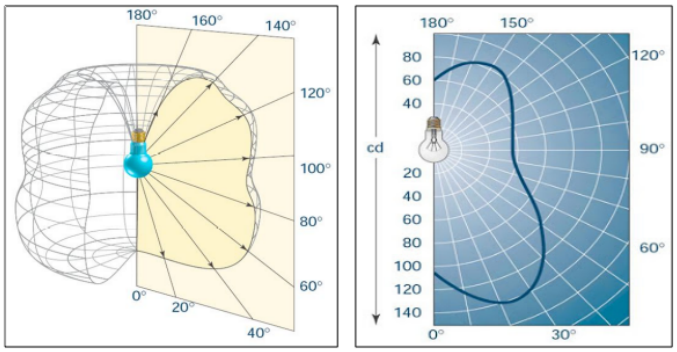


Figura 6.2: Diagrama Polar Fotométrico de I de uma lâmpada [16].

O diagrama da figura 6.2 é representado por diversas curvas:

- Curva fotométrica: resultante da união dos pontos extremos dos vetores que representam os valores das intensidades luminosas nas diferentes direções do espaço;

- Curvas isocandela: curvas circulares, concêntricas com centro na origem, sendo o lugar geométrico dos pontos que representam o mesmo valor de I;
- Curvas radiais: representam as direções de I.

Caso F não seja simétrico, o sistema de iluminação deve ser representado por mais que uma curva fotométrica. Em alternativa ao diagrama polar, existe o diagrama ortogonal.

6.2.3 Iluminância

A iluminância consiste no fluxo luminoso por unidade de área iluminada, ou seja, trata-se de uma relação entre f incidente numa superfície e a área sobre a qual incide, quantificando a luz que atinge determinado ponto. A unidade SI é o lux (lx) e o símbolo que a representa é E. Como podemos observar na formula 6.4, o lux é equivalente ao lúmen por metro quadrado (lm/m^2).

$$E = \frac{\phi}{S} \tag{6.4}$$

A medida do nível desta grandeza pode ser obtida por meio da utilização de um luxímetro, aparelho que consiste numa célula fotoelétrica, sobre a qual incide f, gerando uma fraca corrente elétrica, que aumenta em função do f existente. Essa corrente é medida com um miliamperímetro, analógica ou digitalmente, calibrado diretamente em lux.

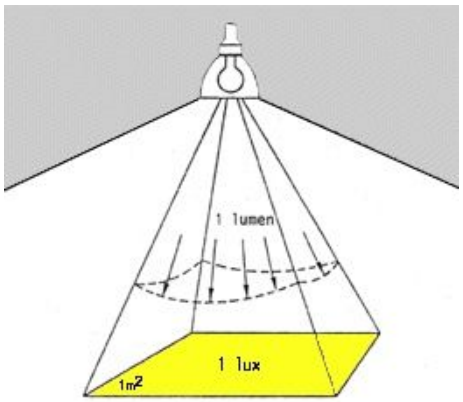


Figura 6.3: Representação da Iluminância.

A distribuição dos valores de E pode ser representada pelo Diagrama de curvas isolux, que consiste na representação de um plano de trabalho definido pelo projetista (paredes, tetos), em que são apresentadas várias curvas, interligando os pontos de igual valor de iluminância na superfície iluminada [67].

6.2.3.1 Iluminância Média

O fluxo luminoso não é uniformemente distribuído, pelo que a iluminância não será a mesma em toda área em análise. Para medir o nível de iluminância é necessário calcular o valor médio

entre as varias medições realizadas no local. Considera-se assim a Iluminância Média (Em). Esta consiste na média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados. A unidade SI é o lx. A norma europeia EN 12464-1 "Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor workplaces" define os valores de Em recomendados para os diferentes locais de trabalho interiores.

6.2.4 Luminância

O quociente entre a intensidade luminosa emitida pela fonte luminosa (ou por uma superfície refletora) e a sua área aparente, configura a Luminância (L). Pode também ser definida como a I emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção a um determinado ponto, comummente o olho humano. A sua unidade SI é a candela por metro quadrado (cd/m^2). De referir que a área aparente é a área projetada num plano perpendicular à direção de observação. L terá o seu valor máximo quando o olho estiver na perpendicular da superfície luminosa.

$$L = \frac{I}{S_a} \tag{6.5}$$

L pode ser obtida por meio da utilização de um luminâncimetro, aparelho baseado em dois sistemas óticos: direção e medição. O aparelho orienta-se de forma a coincidir a imagem com o ponto a medir (direção), convertendo a luz que lhe chega em corrente elétrica medida de forma analógica ou digital (medição). Os valores vêm em cd/m^2.

6.2.5 Quantidade de Luz

Representada por Q, a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, num determinado tempo, ou seja, é o produto de f pelo tempo. Equivale à energia luminosa e é medida em lúmen vezes segundo (lm.s)

6.3 Características das Lâmpadas e Coeficientes Luminotécnicos

De modo a melhor estudar a melhoria da eficiência energética, é importante conhecer as características das lâmpadas, bem como, os coeficientes luminotécnicos fundamentais, uma vez que diferentes tipos de lâmpadas apresentarão características distintas e influeências diferentes sobre os diversos coeficientes e grandezas luminotécnicas.

6.3.1 Fator de Transmissão

O quociente do fluxo luminoso transmitido (f_t) com o fluxo luminoso incidente (f_i) define o fator de transmissão (τ).

6.3.2 Fator de Reflexão

Este fator varia na proporcionalidade inversa da absorção de luz por parte de uma certa superfície. Representa-se por ρ. Sendo sempre inferior a 1, determina-se por:

$$\rho = \frac{f_{\mathrm{r}}}{f_{\mathrm{i}}} \tag{6.6}$$

Com f_r: fluxo luminoso refletido.

6.3.3 Fator de Absorção

O fator de absorção trata-se do quociente do fluxo luminoso absorvido (f_a) e do fluxo luminoso incidente. Representa-se por α.

$$\alpha = \frac{f_{\mathrm{a}}}{f_{\mathrm{i}}} \tag{6.7}$$

6.3.4 Fator de Depreciação

O Fator de Depreciação (K_d) relaciona a diminuição do fluxo luminoso com o tempo.

6.3.5 Fator de Manutenção

O Fator de Manutenção (K_m) relaciona a diminuição do fluxo luminoso com as condições ambientais. É influenciado pelo envelhecimento do sistema de iluminação, nomeadamente das lâmpadas, pela sujidade acumulada nelas e pela diminuição do coeficiente de reflexão das paredes e tetos. Sendo inferior à unidade, é dado por:

$$K_{\mathrm{m}} = \frac{E_{\mathrm{m}}\ Plano\ Util\ Servico}{E_{\mathrm{m}}\ Plano\ Util\ Nova} \tag{6.8}$$

Onde:

- E_m *Plano Util Servico*: Iluminância média no plano útil, após serviço prolongado;
- E_m *Plano Util Nova*: Iluminância média no plano útil, com a instalação nova;

Define-se plano útil como aquele onde existe maior necessidade de iluminação.

6.3.6 Fator de Utilização

O fator de utilização (Ku) quantifica a fração do fluxo luminoso que chega ao plano útil. Assume valores inferiores a 1 e é determinado pela expressão 6.9.

$$K_{\mathrm{u}} = \frac{f_{\mathrm{u}}}{f_{\mathrm{t}}} \tag{6.9}$$

Onde:

- f_u: Fluxo luminoso útil;
- f_t: Fluxo luminoso total;

Este fator depende do tipo de luminária [1], dos fatores de reflexão do teto e paredes e das características geométricas do local a ser iluminado. De modo a caracterizar o local geometricamente,

[1] Conceito a definir na secção 6.5

é usual definir-se um coeficiente denominado Índice de Forma do Local (Kf), determinado pela expressão 6.10.

$$K_{\mathrm{f}} = \frac{ab}{h(a+b)} \tag{6.10}$$

Onde:

- a: Comprimento do local (m);
- b: Largura do local (m);
- h: distância (m) entre o plano útil e a altura seguinte:
  - altura de montagem das lâmpadas, no caso de iluminação direta, semidirecta ou mista;
  - altura do teto, em iluminação direta, semi-indirecta ou indireta.

6.3.7 Fator de Uniformidade de Iluminância

Representado por U_0, o fator de uniformidade de iluminância estabelece a relação entre o nível de iluminação mínimo (Emin) e o nível de iluminação médio (Em).

$$U_o = \frac{E_{min}}{E_m} \tag{6.11}$$

Fornece informação sobre o quão uniformemente a área de trabalho é iluminada. É aconselhado o estabelecimento de valores mínimos, de modo a garantir o conforto e segurança das diversas atividades.

6.3.8 Encadeamento

O encadeamento trata-se de uma sensação desconfortável, que pode chegar a limitar ou inibir a visão. Tem origem em fontes luminosas excessivamente brilhantes no campo de visão humano. Este fenómeno pode ser direto ou indireto.

De modo a uniformizar os processos de classificação de encadeamento mundialmente foi criado o método Unified Glare Rating (UGR). Normalmente, as pontuações finais de UGR encontram-se entre 10 (sem encadeamento) e 30 (encadeamento pronunciado).

6.3.9 Rendimento Luminoso

O rendimento luminoso, ou eficiência luminosa, trata-se do fluxo luminoso gerado por potência absorvida (P). Representa-se por η e a sua unidade é lúmen por watt (lm/W).

$$\eta = \frac{f}{P} \tag{6.12}$$

Esta característica revela-se fundamental aquando a comparação económica entre lâmpadas de diferentes tipos.

6.3.10 Temperatura de Cor

Identificada através do símbolo *Tc*, a temperatura de cor é medida em Kelvin (K) e indica a cor aparente (tonalidade) da luz emitida pela lâmpada. Quanto mais elevada a temperatura, mais "fria" parecerá a luz emitida. Em sentido contrário, quanto mais baixo o valor de *Tc*, mais quente a luz parecerá. Na tabela 6.1 podemos observar a classificação usual de *Tc*.

Tabela 6.1: Classificação de *Tc*.

***Tc* (K)**	**Aparência**
T >5000	Fria (branco – azulado)
3.300 <T <5000	Intermédia (branco neutro)
T <3.300	Quente (branco – avermelhada)

Consoante a atividade para a qual os espaços estão destinados, são recomendados diferentes níveis de *Tc*, de modo a garantir o conforto visual mais adequado.

6.3.11 Índice de Restituição de Cores

Também designado por Índice de reprodução cromática, é designado usualmente por *IRC* ou *Ra*, pretende quantificar o efeito da radiação emitida por uma lâmpada sobre o aspeto cromático dos objetos ou superfícies iluminadas, indicando a capacidade da fonte luminosa para restituir as suas cores. Variando entre 0 e 100, determinará o quão natural será a aparência do objeto iluminado. Quanto mais elevado for o seu valor, melhor a restituição. Na tabela 6.2 é apresentada a classificação da qualidade de restituição consoante o valor de *Ra*, bem como, tipo de utilização.

Tabela 6.2: Classificação do *Ra* em função do tipo de utilização [10]

Classificação	***Ra/IRC***	**Utilizações**
Sem exigências	*Ra* <60	Armazéns, Salas de fundição e Produção em geral
Medíocre	60 <*Ra* <70	Oficinas
Aceitável	70 <*Ra* <90	Escritórios, Escolas e Lojas
Muito Boa	*Ra* >90	Controlo e seleção, Laboratórios e Salas de impressão

Pode-se atribuir às lâmpadas uma determinada classe de *Ra* consoante o valor que apresentarem. Na tabela 6.3 encontra-se essa classificação em classes.

Tabela 6.3: Classes de *Ra* [26]

Classe *Ra*		***Ra***
1	A	$Ra \geq 90$
	B	$80 \leq Ra$ <90
2	A	$70 \leq Ra$ <80
	B	$60 \leq Ra$ <70
3		$40 \leq Ra$ <60
4		$20 \leq Ra$ <40

6.3.12 Vida

Acerca da vida das lâmpadas considera-se diversos tipos:

- Individual: número de horas de funcionamento após o qual uma determinada lâmpada avaria;
- Média: número estatístico de horas médio de funcionamento que resulta do ensaio e análise de um grupo de lâmpadas a trabalhar em condições de laboratório;
- Útil: número de horas de funcionamento em que o nível de depreciação das suas características de f e Tc são aceitáveis.

Podem também ser utilizados alguns indicadores que indicam a duração de vida de uma fonte luminosa:

- B50: índice de mortalidade, que indica o número de horas após as quais 50% de uma quantidade significativa de lâmpadas acesas deixa de emitir f;
- L70: tempo, em horas, no qual o f inicial das lâmpadas em teste foi reduzido em cerca de 30%.

6.3.13 Classe de Eficácia Energética

Até 1 de Setembro de 2013, as lâmpadas podiam ser classificadas, na UE, através de um sistema de 7 classes distintas: A, B, C, D, E, F e G. A classificação era feita com base no rendimento luminoso/eficiência luminosa da lâmpada. A classe mais eficiente seria a A, decrescendo a eficiência gradualmente até à classe G. Era aplicada a todas as lâmpadas de uso doméstico, com raras exceções.

A partir dessa data atualizaram-se a designação das classes (mantendo-se o número em 7). A classe de maior eficiência á agora denominada A++ e a de menor E. A nova classificação é aplicada a todas as lâmpadas.

6.4 Tipos de Lâmpada

Existem diversos tipos de lâmpadas em utilização, com características distintas entre elas. Podemos agrupar esses tipos em 4 famílias diferentes de lâmpadas:

- Incandescentes;
- De Descarga;
- De Indução;
- LED.

6.4.1 Lâmpadas Incandescentes

Existem dois tipos de lâmpadas incandescentes: lâmpadas de filamento e lâmpadas de halogéneo.

6.4.1.1 Lâmpadas Incandescentes de Filamento

As lâmpadas de filamento, são constituídas por um filamento de tungsténio, de resistência elevada, no interior de uma ampola de vidro, a qual é preenchida por um gás inerte. Os gases que podem ser utilizados são: árgon, azoto e *crypton*. Aquando da passagem da corrente elétrica pelo filamento, ocorrendo a sua incandescência (interação dos eletrões com os átomos de tungsténio), sendo produzidos luz e calor. Não necessitam de equipamentos auxiliares para o seu funcionamento, acendendo imediatamente e apresentam dimensões reduzidas. Apresentam um *Ra* muito bom e o seu preço é reduzido. Caracterizam-se ainda por terem um baixo η, bem como uma duração de vida média reduzida. Existem três principais subtipos desta lâmpada: vidro soprado, vidro prensado e normais.

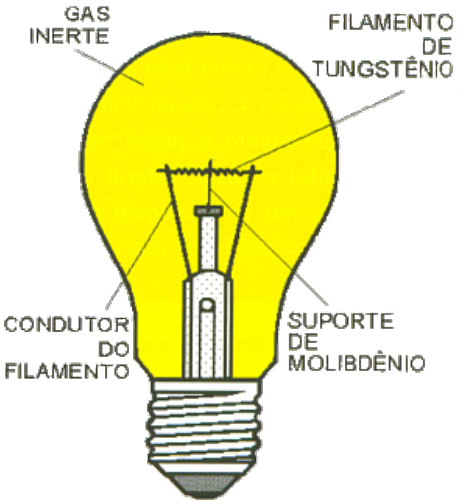


Figura 6.4: Lâmpada Incandescente de filamento [17]

6.4.1.2 Lâmpadas incandescentes de halogéneo

Nas lâmpadas de halogéneo, o princípio de funcionamento é idêntico às de filamento, sendo adicionado ao gás da lâmpada, o gás halogénico (iodo, cloro, bromo). Este permite a refrigeração do filamento. Neste tipo de lâmpadas ocorre um ciclo regenerativo promovido pelo halogéneo, uma vez que as partículas do filamento, desprendidas pela utilização, são capturadas formando o composto halogéneo. Quando este se aproxima do filamento, é derretido pelas suas altas temperaturas, restituindo as moléculas de tungsténio sobre o filamento.

Os dois principais subtipos deste tipo de lâmpada são: lâmpadas de ligação direta à rede BT (230V) e lâmpadas de alimentação reduzida (6V, 12V ou 24V). Este segundo subtipo é possível mediante a utilização de transformadores magnéticos ou eletrónicos.

As lâmpadas de halogéneo apresentam uma duração de vida superior às de filamento. Em termos de rendimento luminoso são também vantajosas face às lâmpadas de filamento, a sua *Tc* é superior. Continuam a apresentar um muito bom valor de *Ra*.



Figura 6.5: Lâmpada Incandescente de halogéneo [18]

6.4.1.3 Características das Lâmpadas Incandescentes

Na Tabela 6.4 são apresentados os principais parâmetros dos dois tipos de lâmpadas incandescentes.

Tabela 6.4: Valores por características das lâmpadas Incandescentes

Característica	Lâmpada de Filamento	Lâmpada de Halogéneo
η (lm/W)	10 a 20	21 a 25
Tc (K)	2700	2900 a 3100
Duração de vida média (h)	1000	2000 a 4000
Ra	80 a 100	80 a 100

Ambos os tipos de lâmpadas estão a ser retiradas de utilização, tendo as primeiras já deixado de ser comercializadas, e as segundas, descontinuadas.

6.4.2 Lâmpadas de Descarga

Nesta família as lâmpadas são usualmente constituídas por um tubo, onde se dá uma descarga entre os elétrodos no meio gasoso. Exteriormente, esse tubo é envolvido por um outro tubo, ou ampola de vidro.

Consoante a pressão a que o gás é submetido pode ser feita a divisão das lâmpadas de descarga em dois grandes grupos: lâmpadas de descarga de alta pressão e lâmpadas de descarga de baixa pressão. Cada um dos grupos, conta ainda com diversos tipos de lâmpadas, classificados segundo o gás constituinte.

Lâmpadas de descarga de baixa pressão:

- Fluorescentes normais (lineares ou tubulares);
- Fluorescentes compactas;
- Vapor de sódio de baixa pressão.

Lâmpadas de descarga de alta pressão:

- Vapor de mercúrio de alta pressão;
- Vapor de sódio de alta pressão;
- Vapor de mercúrio de iodetos;
- Luz mista.

6.4.2.1 Lâmpadas de descarga de baixa pressão

1. **Lâmpadas fluorescentes normais (lineares ou tubulares)**

   A lâmpada fluorescente normal trata-se de uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão, onde a passagem de corrente elétrica pelo vapor vai originar a emissão de radiação ultravioleta, convertida em luz visível por uma camada de fósforo, que reveste a parte interna do tubo exterior da lâmpada.

   Este tipo de lâmpada produz uma luz mais difusa e menos direcionada que as lâmpadas incandescentes. Permite também obter características de η, *Tc* e *Ra* variáveis consoante as necessidades do ambiente de utilização. Tal é determinado pela composição e espessura do pó fluorescente. Apresentam elevados valores de *Ra*, η e longevidade. O seu uso é maioritariamente para iluminação interior, e muito requerido por espaços comerciais e industriais, edifícios públicos e cozinhas domésticas.

   Para o seu funcionamento, necessitam da presença e arrancador e balastro[2].

   As primeiras lâmpadas produzidas deste tipo contavam com um diâmetro de tubo de descarga com 38 milímetros (mm), denominadas por T12. Posteriormente, surgiram as T10, com um diâmetro de 33,5 mm. A evolução deste tipo de lâmpadas ao longo dos anos foi notória. Atualmente as mais usadas apresentam diâmetros de 26 e 16 mm, designando-se T8 e T5, respetivamente. As lâmpadas T8 funcionam com balastros eletrónicos e ferromagnéticos, enquanto as T5 apenas com balastros eletrónicos. As suas dimensões mais reduzidas permitem controlar melhor o feixe luminoso e obter melhores valores de η e *Ra*.



Figura 6.6: Exemplo de Lâmpada Fluorescente (T5) [19]

[2] A abordar na subsecção 6.6.4

2. **Lâmpadas fluorescentes compactas**

   Este tipo de lâmpada é considerado de baixo consumo e de baixa emissão térmica. O seu princípio de funcionamento é idêntico ao das fluorescentes normais, tendo, no entanto, um ou mais tubos de descarga em forma de U (ou curvo), tornando a lâmpada mais compacta. Estas aproximam-se, em termos de dimensões às lâmpadas incandescentes. O tempo de arranque é instantâneo.

   De facto, este tipo de lâmpada pode substituir diretamente as lâmpadas incandescentes, apresentando casquilhos do tipo E27 e E14. Reduz-se assim a energia necessária para produzir a mesma luz em 20%. A sua duração de vida é também superior. Face às incandescentes, o custo é consideravelmente superior, mas através do seu η aliado à sua longa duração de vida, consegue-se abater o custo do investimento.

   Existem lâmpadas deste tipo de diversos formatos e potências, com balastro incorporado, normalmente eletrónico, ou separado.



Figura 6.7: Exemplo de Lâmpada Fluorescente Compacta [20]

3. **Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão**

   Semelhantes às fluorescentes, diferem no gás utilizado (vapor se sódio em lugar do vapor de mercúrio). Têm um formato tubular, sem recobrimento no tubo exterior. O tubo de descarga é em forma de U e tem depositado sódio. O arranque, neste tipo de lâmpadas, é mais demorado, visto que o sódio se encontra em estado sólido à temperatura ambiente, pelo que, ao contrário do mercúrio, não produz vapor metálico. Assim, o seu arranque é efetuado com o apoio de um gás inerte, que permite a produção de calor suficiente para o sódio vaporizar, dando-se assim inicio à descarga. A tensão de arranque deve ser elevada, e o tempo de espera até o rendimento máximo ser atingido é longo (aproximadamente 10 minutos).

   Em termos de η, apresentam o maior valor entre todos os tipos de lâmpada. O mesmo não acontece com o *Ra*, que é nulo, pelo facto de produzirem uma luz monocromática (amarela). Este fator limita a sua utilização a exteriores (iluminação pública e de vigilância). A sua duração de vida é bastante elevada.

Como equipamentos auxiliares, para além do balastro, este tipo de lâmpada exige um ignitor[3] para o arranque e funcionamento.



Figura 6.8: Exemplo de Lâmpada vapor de sódio de baixa pressão [21]

6.4.2.2 Lâmpadas de descarga de alta pressão

1. **Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão**

   As lâmpadas de vapor de mercúrio são constituídas por um tubo de descarga transparente, envolvido por um invólucro de vidro. Dentro do tubo de descarga encontram-se: vapor de mercúrio, árgon dois elétrodos principais e dois auxiliares. Emite uma luz de aparência branca-azulada.

   Precisam de balastro e condensador como equipamentos auxiliares. O seu tempo de arranque ronda os 4 minutos e de re-arranque, 6 minutos.

   Têm um preço relativamente baixo em comparação com as outras lâmpadas de descarga de alta pressão, tendo elevada duração média de vida. Apresentam um valor de *Ra* baixo, sendo utilizados principalmente em grandes espaços exteriores, bem como, em iluminação de autoestradas e de aeroportos.

   Para além de terem vindo a ser substituídas por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, de η mais elevado, a sua comercialização foi proibida em 2015 (Diretiva 65/2011), uma vez que a utilização do mercúrio, de toxicidade elevada, é controlada rigorosamente pela UE.

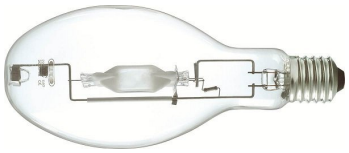


Figura 6.9: Exemplo de Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão [22]

2. **Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**

   Sendo similares às lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, as de vapor de sódio de alta pressão permitem uma maior proporção de radiação visível. O tubo de descarga, cerâmico, contem sódio, de modo a obter condições de saturação do vapor aquando do funcionamento da lâmpada. É usado mercúrio para proporcionar um gás de proteção, sendo adicionado xénon (sob baixa pressão), o que facilita o arranque e limita a condução do arco de descarga para a parede do tubo.

[3] A abordar na subsecção 6.6.2

A luz emitida por este tipo de lâmpada é de cor amarelo-alaranjada, sendo uma impressão mais agradável do que a fornecida pelas lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão. Apresentam um elevado η, tal como a sua duração média de vida. Estas características nesta lâmpada são melhores que a de vapor de mercúrio, embora o seu preço seja mais elevado. A sua utilização centra-se na iluminação pública e industrial.

Como aparelhagem auxiliar necessita de balastro, condensador e ignitor, e o seu tempo de arranque e de re-arranque é de 5 e 1 minutos, respetivamente.



Figura 6.10: Exemplo de Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão [23]

3. **Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos**

   Ao contrário das lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio, as lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos apresentam um bom valor de *Ra*, sendo então preferidas face às anteriores para aplicações que exijam elevado *Ra*. Esta fator é atingido com a introdução no tubo de descarga, de uma mistura de iodetos de sódio, índio e tálio. O mercúrio, apesar de se manter no tubo de descarga, pouco irá contribuir para a obtenção da radiação desejada.

   Este tipo de lâmpada possui uma vasta gama de valores de *Tc* e um elevado η. No entanto, o seu elevado custo limita a sua utilização. Isto deriva da sua elevada complexidade técnica de fabrico. Geralmente, estas lâmpadas são utilizadas em iluminação exterior por projetores, como em estádios e outros recintos desportivos, e na iluminação interior quando a restituição de cores é o fator mais importante a atingir.

   Para o seu arranque precisam de equipamento auxiliar: balastro, ignitor e condensador. O seu tempo de arranque é de 4 minutos enquanto o de re-arranque é de 10 minutos.



Figura 6.11: Exemplo de Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Iodetos [24]

4. **Lâmpadas de luz mista**

   A lâmpada de luz mista assume esta designação pois emite uma luz composta, tratando-se de uma lâmpada de vapor de mercúrio que inclui um filamento incandescente (tungsténio) ligado em serie com um tubo de descarga. Estes são envolvidos por gás, no interior de uma ampola de vidro revestida por fósforo. O filamento é utilizado como o reator para o arranque de funcionamento (com que um balastro), enquanto o tubo de descarga é utilizado para a emissão do f. A presença do filamento estabiliza a corrente da lâmpada, dispensado qualquer equipamento auxiliar, sendo possível a ligação direta à rede. Possui um valor de *Ra* mediano, e um η baixo. A duração média de vida também não é muito elevada. As suas utilizações prendem-se, essencialmente, com a iluminação de estabelecimentos comerciais (montras em especial)

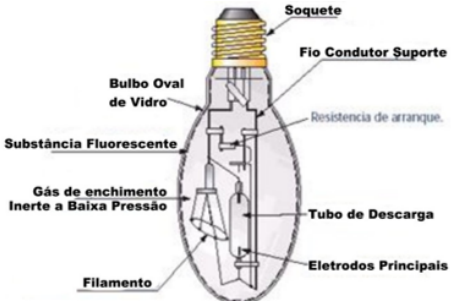


Figura 6.12: Exemplo de Lâmpada de Luz Mista [21]

6.4.2.3 Características das Lâmpadas de Descarga

Nas Tabelas 6.5 e 6.6 e são apresentados os principais parâmetros dos dois tipos de lâmpadas de descarga.

Tabela 6.5: Valores por características das lâmpadas de descarga de baixa pressão

Característica	Fluorescente Normais	Fluorescente Compacta	Vapor de Sódio de Baixa Pressão
η (lm/W)	50 a 100	36 a 80	100 a 200
Tc (K)	2700 a 5000	2700 a 5400	1700
Duração de vida média (h)	10000	10000	12000
Ra	85 a 95	85 a 95	0

Tabela 6.6: Valores por características das lâmpadas de descarga de alta pressão

Característica	Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	Vapor de Sódio de Alta Pressão	Vapor de Mercúrio de Iodetos	Luz Mista
η (lm/W)	36 a 60	70 a 125	80 a 100	26 a 90
Tc (K)	3500 a 4200	1900 a 2500	3000 a 7000	3000
Duração de vida média (h)	14000 a 16000	12000 a 18000	6000 a 12000	2000 a 8000
Ra	40 a 57	25 a 80	85 a 95	40 a 60

6.4.3 Lâmpadas de Indução

O funcionamento das lâmpadas de indução tem por base o mesmo princípio das lâmpadas de descarga. Este tipo de lâmpada não possui elétrodos, tendo um núcleo de ferrite, que cria um campo magnético que induz uma corrente elétrica no gás. Essa corrente ioniza o gás e provoca a emissão de radiação ultravioleta. Esta é convertida em luz visível ao passar pela camada de fósforo que reveste a superfície do tubo, à semelhança das lâmpadas fluorescentes.

Apresentam bom η, elevada duração média de vida e fiabilidade, com arranque quase instantâneo. O índice *Ra* assume um valor também ele bom. O seu preço é, no entanto, muito elevado. São utilizadas em locais onde o acesso às luminárias é difícil, como túneis e naves industriais muito altas, de difícil manutenção.

Para o seu arranque necessita de um gerador de alta frequência.

Podemos dividir as lâmpadas de indução em 2 subtipos consoante o modo de ionização do gás (sem elétrodos):

- **Lâmpadas de indução fluorescentes de alta potência:** em forma de anel fechado de vidro, permite obter a descarga através da energia fornecida exteriormente por um campo magnético, produzido em dois anéis de ferrite. Tal constitui uma vantagem para a duração média de vida da lâmpada.
- **Lâmpadas de descarga em gás de baixa pressão por indução:** princípio de funcionamento semelhante à anterior, com diferença no elemento indutor, que fica no interior da lâmpada, tendo uma menor duração de vida média.

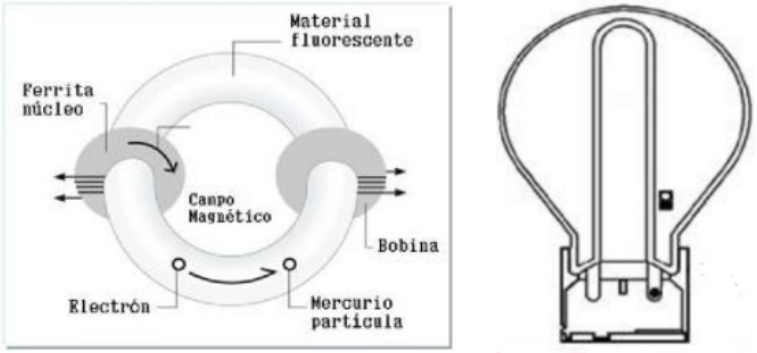


Figura 6.13: Lâmpada de indução fluorescentes de alta potência (esquerda) e Lâmpadas de descarga em gás de baixa pressão por indução (direita) [25]

6.4.3.1 Características das Lâmpadas de Indução

Na Tabela 6.7 e são apresentados os principais parâmetros do tipo de lâmpada de Indução.

Tabela 6.7: Valores por características das lâmpadas de indução

Característica	Indução
η (lm/W)	60 a 80
T_c (K)	2700 a 4000
Duração de vida média (h)	60000 a 100000
R_a	80

6.4.4 Lâmpadas LED

As lâmpadas LED (Light-Emitting Diode) são a tecnologia mais recente na iluminação e consistem em díodos semicondutores, que emitem luz por eletroluminescência. São geralmente fontes de luz com pequena área, à qual é adicionada uma lente, de modo a aumentar a luz emitida. No caso de o material emissor do LED ser um composto orgânico, designa-se por *Organic Light Emitting Diode* (OLED).

Têm vindo a ganhar preponderância na área de iluminação, devido às suas características, nomeadamente o baixo consumo energético, longa duração média de vida e robustez. O funcionamento deste tipo de lâmpada, tal como a sua constituição, difere bastante dos restantes tipos de lâmpadas já apresentados.

A cor da luz emitida é dependente da composição do material semicondutor em utilização. Pode ser infravermelha, visível ou ultravioleta. A impressão de luz branca pode ser conseguida através da combinação de LEDs vermelhos, verdes e azuis ou, em alternativa, por via de um chip azul ou ultravioleta combinado com fósforo.

Para o funcionamento deste tipo de lâmpadas, é necessária uma tensão reduzida, comummente 10V e 24V. São assim necessários transformadores, para poderem ser alimentados através da rede. Estes são já integrados nos LED.

Este tipo de lâmpadas possui diversas vantagens face às restantes, para além das já referidas podemos contar com:

- Emissão de luz de uma certa cor desejada sem uso de filtros: iluminação mais funcional;
- Podem se projetados para focar a luz emitida sem refletores externos: Iluminação Direcionada;
- Atingem o fluxo nominal muito rapidamente;
- Custos de manutenção reduzidos: elevada duração média de vida leva a uma substituição periódica menor;
- Dimensões muito reduzidas possíveis;
- Emissão de radiações reduzida (infravermelha e ultravioleta).

Em termos de pontos fracos pode-se apontar o custo elevado e um R_a não muito elevado. Para além disso necessitam de dispositivos que dissipem o calor em LEDS de grande potência (quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura).



Figura 6.14: Exemplo de lâmpadas LED

6.4.4.1 Características das Lâmpadas LED

Na Tabela 6.8 e são apresentados os principais parâmetros do tipo de lâmpada de LED.

Tabela 6.8: Valores por características das lâmpadas LED

Característica	Indução
η (lm/W)	60 a 133
T_c (K)	3000 a 6000
Duração de vida média (h)	50000 a 100000
R_a	85

6.4.5 Comparação das Características dos Diferentes Tipos de Lâmpadas

Nesta subsecção serão comparados os diferentes tipos de lâmpadas consoante as suas principais características:

- η;
- T_c (K);
- Duração de vida média;
- R_a;
- Classe de eficiência.

Esta comparação é útil para o projeto luminotécnico visto as necessidades de cada espaço, quanto a cada característica, serem por vezes muito específicas. Assim, fornece dados comparativos importantes para o momento da escolha do tipo de lâmpada a utilizar.

O impacto da iluminação no consumo energético de um edifício é bastante elevado, sendo, portanto, um ponto importante de intervenção, no sentido de aumentar a eficiência do edifício e

reduzir consumos. A classe de eficiência das lâmpadas assume um papel relevante neste cenário. Visto que esta classificação fornece dados importantes sobre o consumo energético, entende-se útil a comparação deste parâmetro entre as diferentes lâmpadas.

Na tabela 6.9 é apresentado um quadro resumo de todos os tipos de lâmpada existentes.

Tabela 6.9: Quadro Resumo dos diferentes tipos de Lâmpada

Família	**Incandescentes**		
Tipo	de Filamento	Sub-tipo	Normais
			Vidro Soprado
			Vidro Prensado
	de Halogéneo	Sub-tipo	de Ligação direta à rede (230V)
			de alimentação reduzida (6V, 12V ou 24V)
Família	**de Descarga**		
Tipo	Baixa Pressão	Sub-tipo	Fluorescentes normais (lineares ou tubulares)
			Fluorescentes Compactas
			Vapor de Sódio de Baixa Pressão
	Alta Pressão	Sub-tipo	Vapor de Mercúrio de Alta Pressão
			Vapor de Sódio de Alta Pressão
			Vapor de Mercúrio de Iodetos
			Luz Mista
Família	**Indução**		
Tipo	Fluorescente de alta Potência		
	Descarga em Gás de Baixa Pressão por Indução		
Família	**LED**		

De modo a melhor comparar as características das lâmpadas, e visualizar os contrastes, serão apresentados alguns gráficos comparativos (figuras 6.15 a 6.18) . A tabela 6.10 é também uma ferramenta útil nessa tarefa.

Tabela 6.10: Síntese dos valores por característica de todos os tipos de lâmpada

Tipo de Lâmpada			**Característica**			
			η (*lm*/*W*)	*Ra*	*Tc* (K)	Tempo médio de vida (h)
Incandescentes	de Filamento		10 a 20	80 a 100	2700	1000
	de Halogéneo		21 a 25	80 a 100	2900 a 3100	2000 a 4000
Descarga	Baixa Pressão	Fluorescentes normais (lineares ou tubulares)	50 a 100	85 a 95	2700 a 5000	10000
		Fluorescentes Compactas	36 a 80	85 a 95	2700 a 5400	10000
		Vapor de Sódio de Baixa Pressão	100 a 200	0	1700	12000
	Alta Pressão	Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	36 a 60	40 a 57	3500 a 4200	14000 a 16000
		Vapor de Sódio de Alta Pressão	70 a 125	25 a 80	1900 a 2500	12000 a 18000
		Vapor de Mercúrio de Iodetos	80 a 100	85 a 95	3000 a 7000	6000 a 12000
		Luz Mista	26 a 90	40 a 60	3000	2000 a 8000
Indução			60 a 80	80	2700 a 4000	60000 a 100000
LED			60 a 68	85	3000 a 6000	50000 a 100000

No gráfico da figura 6.15 pode ser observada a diferença no valor do rendimento luminoso das diferentes lâmpadas existentes. Os valores apresentados dizem respeito ao valor máximo de η que se pode encontrar em cada tipo de lâmpada. A discrepância entre os valores é considerável. Como se pode constatar, a lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão é a que apresenta o valor mais elevado de η. No lado oposto, encontram-se as lâmpadas incandescentes, sendo as menos

eficientes. De referir que o rendimento das lâmpadas LED tem vindo a aumentar, com a evolução da tecnologia, e prefigura-se já com rendimentos elevados.

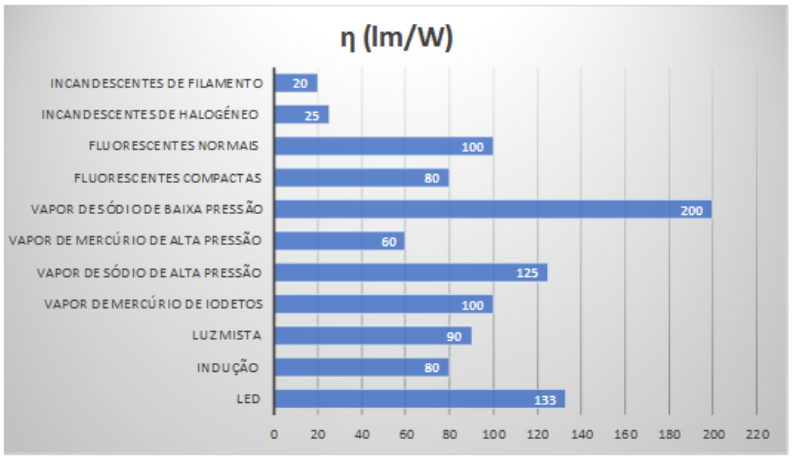


Figura 6.15: Gráfico comparativo do rendimento luminoso das lâmpadas

Seguidamente, na figura 6.16, apresenta-se o gráfico relativo ao tempo médio de vida dos diferentes tipos de lâmpada, de modo a perceber quais as que apresentam a maior durabilidade prevista. Novamente, os valores apresentados no gráfico são os valores máximos que se podem encontrar entre cada tipo de lâmpada. Rapidamente se percebe a grande disparidade de valores existente. Observa-se que as lâmpadas LED e as de Indução apresentam muito longa duração de vida, sendo também muito mais elevada que as restantes. As lâmpadas incandescentes, tal como no rendimento luminoso, voltam a apresentar o valor mais baixo.

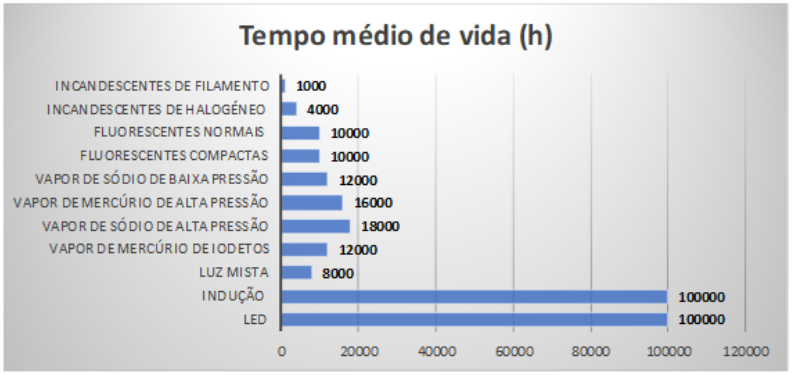


Figura 6.16: Gráfico comparativo do tempo médio de vida das lâmpadas

A figura 6.17 retrata a gama de valores de T_c das diferentes lâmpadas, permitindo compara-las quanto a esta característica. É possível observar que as lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos apresentam um maior intervalo possível de T_c, e é também, a que atinge valores mais elevados. As lâmpadas LED apresentam um intervalo de valores também muito interessante, tal como as lâmpadas fluorescentes, embora não tão alargado. As lâmpadas de vapor de sódio de alta e baixa

pressão, são as que apresentam menor T_c. Para além disso, não apresentam grande intervalo de valores, pelo que não são muito versáteis (quanto a serem aplicáveis a diferentes utilizações). O mesmo acontece com as lâmpadas incandescentes e de luz mista.

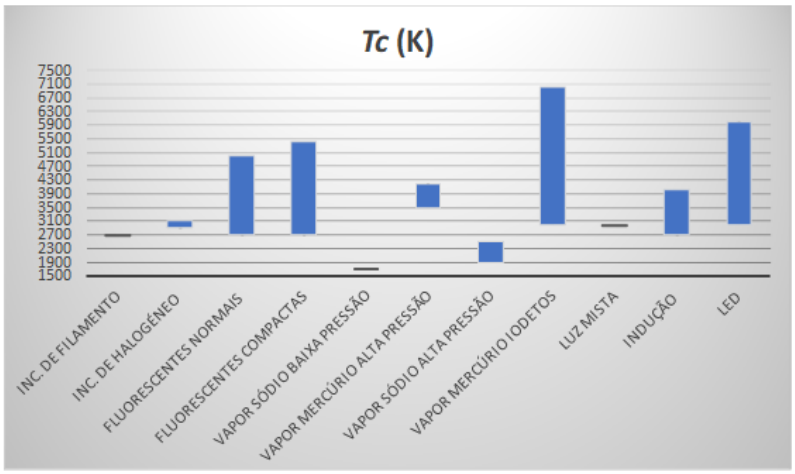


Figura 6.17: Gráfico comparativo da temperatura de cor das lâmpadas

Na Figura 6.18 encontra-se representado a gama de valores de R_a, para os diferentes tipos de lâmpada. Pode observar-se que as lâmpadas que melhor realizam a restituição das cores são as incandescentes, sendo que as fluorescentes e as de mercúrio de iodetos também apresentam uma muito boa restituição. As lâmpadas de indução e as LED, apresentam também uma boa restituição de cores. A lâmpada que apresenta menor valor nesta característica, como se observa pela figura 6.18, é a de vapor de sódio de baixa pressão, com um R_a quase nulo.

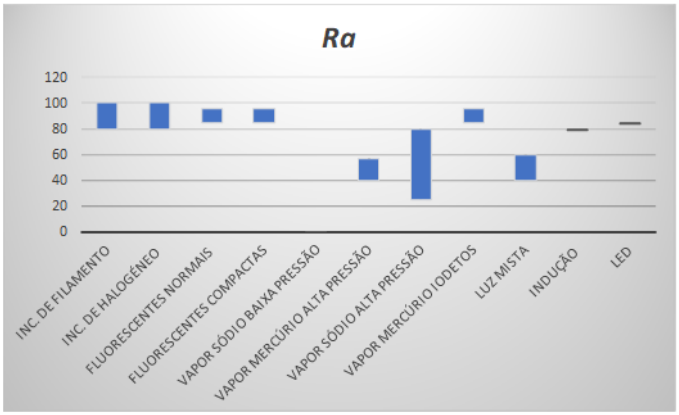


Figura 6.18: Gráfico comparativo da restituição cromática das lâmpadas

Para completar a comparação dos tipos de lâmpadas é apresentada as classes respetivas a cada tipo (tabela 6.11).

Tabela 6.11: Classe de Eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas

Tipo de Lâmpada	Classe
Incandescentes de Filamento	E
Incandescentes de Halogéneo	C/D
Fluorescentes Lineares	A++/A+/A
Fluorescentes Compactas	A++/A+/A
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	A+
Vapor de Mercúrio Alta Pressão	B
Vapor de Sódio Alta Pressão	A
Vapor de Mercúrio de Iodetos	A
Luz mista	A+
Indução	A+
LED	A++/A+/A

Para iluminação de edifícios, e tendo em conta as lâmpadas mais utilizadas para esse fim, observa-se que o LED é uma muito boa solução, apresentando um rendimento bastante elevado, elevada gama de valores para T_c, bem como, valores elevados de R_a e tempo médio de vida. Outra solução viável é a utilização de lâmpadas fluorescentes, que também apresentam boas características, embora o seu tempo médio de vida, face aos LED, seja inferior. As lâmpadas incandescentes serão a solução menos económica e interessante, pelo facto de possuírem rendimento muito baixo, tal como o seu tempo médio de vida. Em termos de restituição de cores são muito vantajosas, mas face às outras características e quando comparadas, globalmente, com as lâmpadas fluorescentes e as LED, ficam pior classificadas.

6.5 Luminária

O aparelho de iluminação designado por luminária permite repartir, filtrar ou transformar a luz proveniente de uma ou mais lâmpadas. A sua constituição, para além das lâmpadas, conta com todos os elementos necessários à proteção e fixação das mesmas, aos quais se acresce, para cada tipo de lâmpada, um conjunto específico de equipamentos auxiliares, de modo a permitir o correto funcionamento das lâmpadas. [68].

A importância deste elemento do sistema de iluminação é indiscutível, uma vez que uma devida eficiência da luminária, permitirá um melhor aproveitamento do fluxo luminoso e outras características das lâmpadas, proporcionando um maior conforto e condições adequadas às utilizações do espaço servido pela luminária. A escolha da armadura terá então de ser alvo do maior cuidado, no sentido de otimizar o sistema de iluminação. Para isso, terão de ser tidos em conta outros aspetos, como a uniformidade, o encadeamento, já abordados anteriormente, bem como, o índice de proteção das luminárias.

A eficiência ou rendimento da luminária pode ser determinado através da razão entre o fluxo luminoso emitido pela luminária (f_l) e o fluxo luminoso total da lâmpada (f_{tl}) respetiva à luminária.

Valores estes, a uma temperatura de 25 graus Celsius (C). É muitas vezes referenciado por Light Output Ratio (LOR).

$$LOR = \eta_{\text{luminária}} = \frac{f_{\text{l}}}{f_{\text{tl}}} \tag{6.13}$$

Pode ser realizada uma estimativa do número de luminárias (N_L) a ser instalado num dado local, através do método dos lúmens:

$$N_{\text{L}} = \frac{c \times l \times E}{f_{\text{l}} \times K_{\text{m}} \times K_{\text{d}} \times K_{\text{u}}} \tag{6.14}$$

A parcela c trata-se do comprimento do local e l a largura, ambos em metros.

A proteção contra agentes externos de que a luminária dispõe é indicado por um índice designado índice de proteção (IP). Este varia consoante o local de instalação e é definido por um conjunto de dois dígitos à direita da sigla. O primeiro indica o grau de proteção contra a penetração de poeiras e corpos sólidos e o segundo, o grau de proteção contra a penetração de líquidos.

Para além das características anteriores devemos ter conhecimento da forma do diagrama polar das luminárias, que normalmente é incluída pelos fabricantes no catalogo, juntamente com a informação técnica.

Dependendo do tipo de lâmpada existem determinados equipamentos a ser incluídos na luminária, e que serão abordados na secção 6.6.

6.6 Equipamentos Auxiliares

Os equipamentos auxiliares que serão abordados nesta secção são essenciais para o bom funcionamento das lâmpadas de descarga. São eles:

- Arrancador;
- Ignitor;
- Condensador;
- Balastros.

6.6.1 Arrancador

Utilizados para auxiliar o arranque nas lâmpadas fluorescentes normais (com balastro magnético), o arrancador pré-aquece os elétrodos dessas lâmpadas, sendo que o fecho dos contactos deste equipamento auxiliar, permite a passagem da corrente pelo circuito de alimentação da lâmpada. Isto permite o aquecimento dos elétrodos para uma temperatura indicada à realização da descarga.

Assim que os contactos do arrancador abrem, a energia que se encontra armazenada no balastro irá causar um pico de tensão que permitirá o arranque da lâmpada.

6.6.2 Ignitor

O ignitor permite a injeção de impulsos de alta tensão através das lâmpadas, de modo a proporcionar o seu arranque. São utilizados em alguns tipos de lâmpadas de descarga: lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos.

6.6.3 Condensador

Existem dois tipos de condensadores auxiliares:

- Condensador para compensar o fator de potência;
- Condensador para supressão de interferências.

Aquando da utilização de balastros convencionais, será necessário ter um baixo fator de potência na instalação de iluminação, o que se torna incompatível com o correto funcionamento da instalação elétrica. O condensador de compensação de fator de potência permite contornar esta questão, sendo normalmente ligados em paralelo.

São utilizados em lâmpadas: fluorescentes, de vapor de mercúrio de alta pressão, de vapor de mercúrio de iodetos e vapor de sódio de alta pressão.

6.6.4 Balastros

Os balastros permitem a limitação da intensidade de corrente absorvida pelas lâmpadas de descarga.

Existem dois tipos de balastros:

- Balastros Magnéticos;
- Balastros Eletrónicos.

As perdas são um aspeto fundamental, pelo que foi natural o surgimento de um sistema de classes de eficácia energética que permitisse classificar os balastros quanto a esta matéria. Assim, estabeleceram-se 6 classes (A1, A2, A3, B1, B2 e C). A sua ordem corresponde a um Indice de Eficácia Energética (IEE) decrescente (de A1 para C). As três primeiras classes (A1, A2 e A3) aplicam-se a balastros eletrónicos, enquanto as classes B1 e B2 dizem respeito a balastros magnéticos com perdas reduzidas. A classe C é atribuída aos restantes balastros magnéticos. De referir que o IEE diz respeito ao valor de potência total, em Watts, do conjunto lâmpada/balastro de uma certa luminária.

6.6.4.1 Balastro Magnético

Consistem em bobinas de limitação de correntes, sob um núcleo ferromagnético laminado, com valores de resistência e indutância que originam um fator de potência bastante baixo a este

elemento. Isto leva à necessidade da utilização conjunta dos já abordados condensadores. Este balastro é ligado em série com a lâmpada.

O custo destes balastros é reduzido e tem a vantagem de ser simples e robusto. Em contrapartida, as suas perdas (elétricas e magnéticas) são muito elevadas e, por conseguinte, tem um rendimento baixo e alto consumo. Para além disso a fiabilidade de ignição também é reduzida.

Existem balastros magnéticos convencionais e balastros magnéticos de perdas reduzidas [68] Os convencionais têm vindo a ser retirados do mercado progressivamente.

6.6.4.2 Balastros Eletrónicos

Os balastros eletrónicos consistem em conversores de eletrónica de potência e garantem a tensão de arranque adequada para a lâmpada, mantendo os valores nominais de corrente e tensão em regime normal de funcionamento. Permitem obter um fator de potência próximo da unidade e limitar a distorção harmónica, bem como a interferência eletromagnética.

Para além destas potencialidades existem ainda muitas outras vantagens da utilização este tipo de balastro:

- Aumento da eficiência/rendimento das lâmpadas;
- Aumento do tempo de vida útil das lâmpadas;
- Redução das dimensões (peso e tamanho);
- Redução do consumo em 20 a 30
- Redução do campo magnético (sendo baixo);
- Redução da temperatura de funcionamento (sendo baixa);
- Evita uso de arrancador (arranque imediato das lâmpadas);
- Evita o uso de condensadores (consequência do fator de potência perto de 1);
- Evita o efeito flicker (devido à alta frequência de funcionamento proporcionada);
- Evita o ruido (funcionamento acima da gama audível de frequências);
- Possibilita a regulação de fluxo luminoso;
- Funcionamento em DC.

A sua principal desvantagem prende-se com o preço elevado. No entanto, dado o conjunto de mais valias que apresentam, considera-se vantajosa a substituição dos balastros magnéticos, nas instalações já existentes, por balastros eletrónicos. Estes, são especialmente utilizados em lâmpadas fluorescentes normais.

Existem 3 tipos de balastros eletrónicos, que são também classificados diferenciadamente quanto à sua eficiência:

- Balastro Eletrónico Standard: A3;
- Balastro Eletrónico de Baixas Perdas: A2;
- Balastro Eletrónico DIM (com regulação dimmable): A1.

O sistema de regulação pode ser de dois tipos:

- 1-10V: é aplicada uma tensão DC, que varia de 1 a 10V, sendo que o fluxo luminoso é proporcional à tensão de regulação;
- Digital: transmite-se um sinal série à entrada de regulação do balastro.

6.7 Gestão de Sistemas de Iluminação

É possível aumentar consideravelmente a eficiência de um sistema de iluminação, adaptando o tempo de acendimento e o fluxo luminoso às reais necessidades de iluminação e ocupação dos espaços. Para tal, existem vários métodos de gestão de iluminação, sendo fundamental a escolha do indicado. Cada método recorre a diversos aparelhos e tecnologias para o desempenho da sua função.

Para além disso é fundamental compreender a necessidade aliar à eficiência dos equipamentos de iluminação, a subdivisão dos circuitos, de modo a facilitar a sua gestão. Salienta-se que os sistemas de gestão de iluminação apenas são efetivos se forem aceites e compreendidos pelos ocupantes dos espaços iluminados, de modo a que exista a sua cooperação.

6.7.1 Comando de Circuitos de Iluminação

Para que seja possível o controlo do nível de iluminação existe um conjunto de aparelhos que se designam por aparelhagem de comando. Podem considerar-se dois grandes tipos:

- Comando Manual;
- Comando Automático.

6.7.1.1 Comando Manual

Para o comando manual (ligação ou corte) são utilizados os seguintes equipamentos:

- **Interruptor:** comando de um ponto de luz, ou vários a funcionar em conjunto a partir de apenas um local;
- **Comutador de lustre:** comando de dois pontos de luz ou dois grupos de pontos, a partir de um local apenas;
- **Comutador de escada:** comando de um ponto de luz a partir de dois locais distintos;

- **Comutador de escada duplo:** comando de dois pontos de luz a partir de dois locais distintos;
- **Inversor de grupo:** comando de um ponto de luz a partir de três, ou mais, locais diferentes;
- **Telerruptor:** comando de um grupo de pontos de luz a partir de locais distintos, através da utilização de botões de pressão em paralelo. Podem substituir os comutadores de escada e inversores de grupo, simplificando a ligação do circuito. Consiste num contactor de manobra com um dispositivo mecânico que o faz manter numa certa posição até receber um impulso de corrente que o fará permutar a posição.

A aparelhagem de manobra, de uso corrente (setores doméstico e terciário) pode ser de montagem encrastada (paredes) ou saliente. Pode ainda ser estanque, em locais onde exista a presença de água ou humidade.

De referir ainda que os diferentes tipos de aparelhos referidos podem ainda conter variantes, que podem coexistir, ou não, no mesmo aparelho:

- **Aparelho bipolar:** corte de fase e neutro (o unipolar apenas corta a fase);
- **Aparelho luminoso:** sinalizador luminoso incluído enquanto a carga não estiver ligada;
- **Aparelho com sinalização:** sinalizador luminoso enquanto a carga estiver ligada;

6.7.1.2 Comando Automático

Existe a possibilidade de comando automático do circuito de iluminação, sendo que a aparelhagem utilizada para o efeito é a seguinte:

- **Automático de escada:** comando automático através de um impulso, sendo que a operação de desligar é automática, após um certo período de tempo programado. A temporização neste aparelho pode ser realizada através de: pneumática, motor elétrico com excêntricos, mecanismo de relojoaria ou eletronicamente.
- **Interruptor horário:** Comando em horários pré-estabelecidos. Existem dois tipos: eletromecânicos e digitais. Nos primeiros, a regulação é feita através do posicionamento de "cavaletes" num mostrador horário, sendo que a duração entre a abertura e o fecho é determinado pelo intervalo entre os dois cavaletes. Os digitais permitem uma programação mais sofisticada, permitindo o armazenamento em memoria, com um ou mais canais, o programa. Podem comandar mais que um circuito. Existe a possibilidade de programar os diferentes interruptores numa base/sequência horária, diária ou semanal.
- **Interruptor crepuscular:** comando a partir dum dado nível de iluminância medido por uma célula fotoelétrica (estanque), sendo a iluminação desligada quando o valor de iluminância é inferior ao nível estabelecido. Geralmente, é definida uma temporização de modo a evitar o desligamento aquando de variações passageiras de luminosidade.

- Interruptor astronómico: funcionamento similar ao do interruptor crepuscular, diferenciando-se por não necessitar de célula fotoelétrica, devido à sua programação ser realizada em função da latitude e longitude.
- Detetor de presença: é normalmente constituído por um detetor de movimento, que responde à presença ou ausência de pessoas, localizadas no campo de alcance do sensor. Os sensores de movimento em utilização baseiam-se em:
  - Infravermelhos passivos (PIR): deteção de presença através da reação às fontes de energia infravermelha, como o corpo humano em movimento;
  - Ultrassons (US): deteção através de emissão de ondas ultrassónicas que são refletidas pelos objetos existentes no espaço de alcance, medindo o tempo de retorno das ondas;
  - Dupla tecnologia (PIR/US): incluem ambas as tecnologias abordadas de modo a proporcionar a máxima sensibilidade e cobertura nos locais de deteção difícil.

6.7.2 Gestão de Iluminação

Existem diversos sistemas de gestão de iluminação. Serão abordados nesta subsecção os seguintes:

- Zonagem;
- Gestão horária;
- Deteção e presença de movimento;
- Gestão em função da iluminação natural;
- Gestão centralizada da iluminação.

Será fácil concluir que o funcionamento integrado destes sistemas pode ser vantajoso e até desejado.

6.7.2.1 Zonagem

A zonagem baseia-se na repartição e reagrupamento dos comandos tendo em conta aspetos como:

- Presença de iluminação individual: retarda o acendimento da iluminação geral;
- Zonas de atividade com igual período de ocupação: utilização dos aparelhos de uma mesma zona em função da ocupação independentemente da zona vizinha;
- Iluminação natural do local: armaduras do lado interior comandadas diferenciadamente das que se encontram junto das zonas envidraçadas, sendo ligadas em função da necessidade de complemento da iluminação natural;

- Atividades secundárias: iluminação reduzida (suficiente) para as atividades que ocorrem fora das horas normais.

A aplicação destes comandos a uma instalação existente é simples, embora necessite de recablagem de instalação integrando interruptores e contatores adicionais.

Na utilização deste modo de gestão é preciso ter em conta alguns fatores como a aceitação por parte dos ocupantes, como já referido, sendo importante possibilitar a ligação da iluminação da zona de trabalho por parte dos ocupantes, ao invés de todo o espaço.

6.7.2.2 Gestão Horária

Os equipamentos utilizados na gestão horária foram já abordados e consistem nos dispositivos de comando automático de iluminação (automático de escada, interruptores horários, crepusculares e astronómicos e deteção de presença e movimento). Os automáticos de escadas são muito utilizados em zonas de circulação, onde a presença continua de utilizadores é menos frequente, sendo assim assegurada a extinção automática da iluminação.

Quanto à utilização dos interruptores horários neste sistema de gestão deve ter-se em consideração que é preferível apenas comandar a extinção da iluminação, deixando o acendimento ao critério dos ocupantes, sendo importante a inclusão de comandos locais que permitam restabelecer a iluminação se necessário, não impedindo, porém, o retorno ao modo automático.

Aquando da extinção automática, deve ser garantido um nível de iluminação mínima que permita, aos possíveis ocupantes presentes no local, aceder ao botão de acendimento.

6.7.2.3 Deteção de presença e movimento

Neste tipo de sistemas de gestão os equipamentos de comando em uso são os detetores de presença, que liga as armaduras de um local aquando da entrada de um utilizador e apaga-as após a sua saída.

Neste caso é importante introduzir uma temporização à extinção, de modo a evitar a redução do tempo de vida das lâmpadas devido a ciclos de acendimento e extinção demasiado frequentes.

Existem dois tipos de mecanismos:

- Com triac: comando de lâmpadas de incandescência e de halogéneo de 230V;
- Com relé: comandar também as lâmpadas fluorescentes.

Em termos de detetores pode-se igualmente contar dois tipos:

- Detetores com poder de corte (da alimentação das lâmpadas): estes podem ainda ser divididos em vários subtipos: os que se destinam a substituir interruptores, os montados na parede, os montados no teto e os integrados na armadura);
- Detetores que permitem regulação de fluxo: atuam sobre o comando 1-10V do balastro com regulação de fluxo.

Atualmente os detetores combinam diversas funções (multidetetores) de maneira a gerir um ou vários grupos de luminárias (deteção de presença, regulação em função da luz natural, telecomando).

Os detetores devem ser posicionados de forma a cobrir todo o espaço a detetar, tendo em conta as suas características, não devendo ser influenciados por alguma fonte luminosa permanente, ou movimentos fora da zona a controlar.

É possível efetuar uma zonagem através da correta localização dos detetores, ou introdução de peças de encobrimento no detetor (para apenas "ver" a zona desejada).

6.7.2.4 Gestão em Função da Iluminação Natural

Quando o nível de iluminação é adequado, como muitas vezes nas zonas próximas das janelas, o conforto visual é assegurado sem necessidade de recorrer à iluminação artificial. Assim existem soluções que permitem tirar o máximo proveito da iluminação natural, reduzindo os consumos de energia. Nesse sentido pode-se recorrer a:

- Comando on/off em função da luz exterior;
- Regulação continua do fluxo em função da iluminação interior;
- Comando individual em cada luminária, ou grupo de luminárias.

- **Comando on/off em Função da Luz Exterior**

Nos locais com forte presença de iluminação natural, será suficiente recorrer a um comando on/off em função da iluminação exterior, sendo que a iluminação artificial pode chegar a só ser utilizado no início e no final do dia. A regulação pode ser realizada passo a passo, desligando progressivamente filas de luminárias a partir das janelas, ou gerindo o número de lâmpadas ligadas em luminárias com mais de uma lâmpada. Deve ser introduzida uma temporização aquando da utilização de um comando on/off, de modo a evitar a modificação da iluminação artificial causada por uma variação brusca da luminosidade exterior.

Em termos de custos esta solução é vantajosa dado o diminuto número de sensores necessários (locais da mesma fachada tratados de igual modo). A sua regulação não é, porém, simplificada, dependendo da configuração do local e do afastamento das armaduras em relação à fachada. Para além disso é necessário atender ao facto de ser um sistema sem retroação (regulador não conhece o que se passa no local), difícil de implementar em fachadas sombreadas por obstáculos.

- **Regulação Contínua do Fluxo em Função da Iluminação Interior**

Este sistema é apropriado para locais de fraca iluminação natural. A regulação (baseada no nível de iluminação interior) cuidada e continua, do fluxo luminoso, é muito útil neste caso, levando a grandes poupanças energéticas e económicas. O nível de iluminância interior será neste caso a grandeza representativa para a regulação.

A regulação requerida neste sistema, exige a utilização de balastros eletrónicos de classe A1 (com regulação de fluxo), sendo que o limiar mínimo abaixo do qual é permitido descer depende do tipo de balastro utilizado, existindo alguns que permitem uma redução de f até aos 0%, continuamente. Apesar disso tem-se sempre um consumo residual no sistema devido ao consumo do balastro ser independente da potência da lâmpada. Assim a potência do conjunto lâmpada e balastro é sempre superior a 5% da potência total. Para evitar esta situação é recomendável que o sistema desligue automaticamente a alimentação dos balastros.

Para uma eficácia efetiva e total deste sistema de gestão de iluminação é importante a implementação de algumas funções complementares, como a inclusão de detetores de presença ou interruptores horários, evitando que luzes acesas sem ocupantes no local.

- **Comando Individual em Cada Luminária ou Grupo de Luminárias**

Este método pode ser realizado através da:

- Medida da iluminância da janela: sensor mede continuamente a luminância da janela (proporcional à quantidade de luz natural), sendo estabelecida uma correspondência entre o nível medido e a regulação do balastro para se manter o nível de iluminância pretendido;
- Medida da iluminância num ponto do local: sensor mede a luminância num ponto do local e adapta a potência das luminárias atendendo ao valor medido. É uma regulação menos fina que a do ponto anterior, iluminando-se sempre um pouco por excesso, face às necessidades reais, as zonas mais afastadas das janelas;
- Medida da luminância ao nível de cada armadura: cada luminária é equipada com um sensor de luz constante que mede a iluminação sob a armadura e atua diretamente no balastro de modo a manter a iluminância recomendada. Muito simples e económico, não necessitando de cablagem especial nem equipamento de regulação central, sendo facilmente aplicável a renovações e ajustável as necessidades de cada posto de trabalho. Esta regulação nunca atinge o ponto ótimo pelo facto de resultar sempre uma sobre-iluminação aquando do aumento da iluminação natural. Não é possível eliminar o consumo residual do balastro.

6.7.2.5 Gestão Centralizada da iluminação

Nas instalações tradicionais, as luminárias e comandos são ligados através de uma rede de cabos, definidos no projeto de eletricidade. Recentemente a inovação tecnológica na área da iluminação trouxe novas possibilidades. Através de um mesmo barramento de comunicação todos os equipamentos são ligados em paralelo, tendo cada luminária e cada comando um endereço próprio.

A arquitetura destes sistemas caracteriza-se por:

- Controlo local das luminárias, definido pelo utilizador (zonas distintas);
- Gestão centralizada da iluminação. [26].

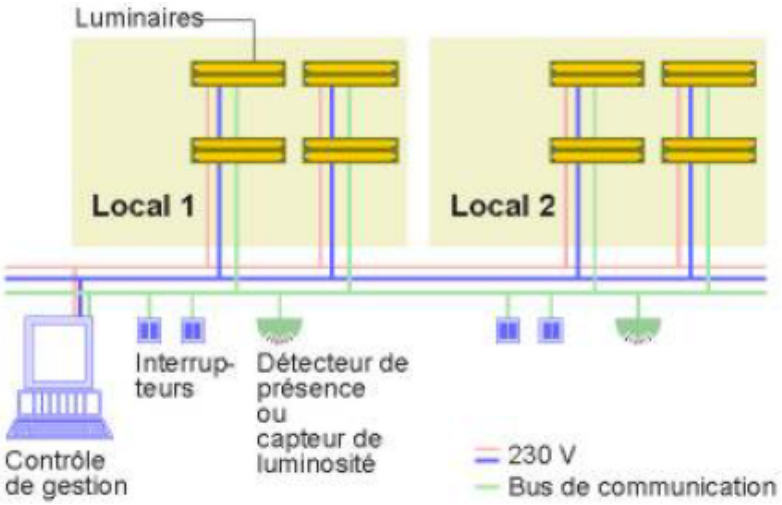


Figura 6.19: Arquitetura da gestão centralizada de iluminação [26]

6.7.2.6 Otimização de Sistemas de Iluminação

Há um conjunto de cuidados a ter, quer no projeto dos edifícios, quer no próprio projeto elétrico para que o sistema de iluminação seja otimizado. A manutenção das instalações do edifício e luminotécnicas tem também um papel importante.

Assim propõe-se, com o contributo dos equipamentos e sistemas já abordados [10]:

- Desligar a iluminação nos períodos de paragem;
- Potenciar ao máximo o recurso a iluminação natural (vãos envidraçados, janelas, claraboias, telhas translucidas, sistemas de condução de iluminação natural);
- Manter limpas as janelas e envidraçados;
- Manter limpos os sistemas de iluminação;
- Utilizar equipamentos eficientes: armaduras, balastros, refletores;
- Aplicação de balastros eletrónicos;
- Utilizar cores claras e adequadas na pintura dos espaços;
- Postos de trabalho em zonas próximas a entrada de luz natural;
- Baixar a altura de colocação de luminárias (sempre que estejam a mais de 5m de altura);
- Reforçar iluminação localizada nos postos de trabalho;
- Níveis de iluminação adequados às atividades inerentes a cada espaço;
- Substituição em série de lâmpadas em fim de vida útil para reduzir os custos de manutenção e exploração;

- Seccionamento adequado;
- Implementar sistemas automáticos de controlo.

Na figura 6.20 podemos observar as vantagens da utilização dos diversos equipamentos de iluminação e de comando na melhoria da eficiência dos sistemas luminotécnicos. Nomeadamente através da utilização de balastros eletrónicos com regulação de fluxo em coordenação com um, ou mais, dispositivos de comando.

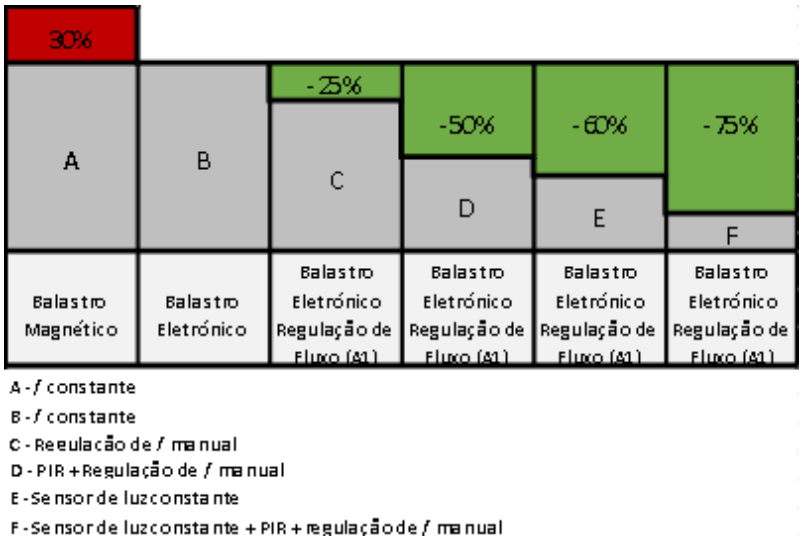


Figura 6.20: Poupança obtida através da utilização dos diferentes tipos de balastros em associação a outros dispositivos [27]

Capítulo 7

Sistemas AVAC

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) resulta da evolução de técnicas de tratamento e qualidade do ar interior, possibilitando a regulação da temperatura, humidade e ventilação interior. Estes sistemas são preponderantes em edifícios de serviço público, onde as condições acima referidas e a renovação do ar são fundamentais e restritivas, por motivos de saúde publica e conforto do utilizador dos diferentes espaços.

7.1 Classificação e Caracterização dos Sistemas AVAC

Em função do número de transformações termodinâmicas pode ser realizada uma classificação dos sistemas das instalações de tratamento de ar.

Tabela 7.1: Classificação dos sistemas AVAC

Função Termodinâmica		**Designação da Instalação**
Número	Tipo	
Nenhuma ou apenas uma	N	Ventilação
	A	
	R	
	H	
	D	
Duas	A/R	Climatização ou Condicionamento do Ar parcial
	A/H	
	A/D	
	R/H	
	R/D	
	H/D	
Três	A/R/H	Climatização ou Condicionamento do Ar parcial
	A/R/D	
	R/H/D	
	A/H/D	
Quatro	A/R/H/D	Climatização ou condicionamento total do Ar
Legenda: A – Aquecimento, R – Refrigeração, H – Humidificação, D – Desumidificação.		

Nos casos onde esteja prevista a inclusão de filtragem acrescenta-se um F à denominação do tipo de instalação. Existem mais algumas classificações para estes sistemas. Uma delas prende-se com os locais que servem:

- Sistemas unitários: evaporador e condensador numa base comum, formando um equipamento único capaz de produzir calor ou frio, servindo apenas um local. Têm vindo a ser progressivamente menos utilizados;
- Sistemas divididos: sistemas *split* (um evaporador e um condensador) ou multi-*split* (vários evaporadores e um só condensador), têm o compressor e o evaporador em locais diferentes.

Outra classificação possível é baseada no local de instalação e nos locais que são alvo da climatização. Esta divide os sistemas em: sistemas de zona ou modular e sistemas centralizados. Nos sistemas de zona, apenas algumas zonas do edifício são climatizadas, enquanto que os centralizados são capazes de climatizar toda a área pretendida (garantido por um sistema distinto do de zona). Os sistemas centralizados são constituídos por unidades produtoras de frio e calor sendo que podem ainda ser divididos em:

- Sistemas tudo-ar: subdividido em sistemas de volume de ar constante (VAC) e sistemas de volume de ar variável (VAV);
- Sistemas tudo-água: subdivididos em sistema tudo-água a 2 tubos e sistema tubo-água a 4 tubos;
- Sistemas ar-água.

7.2 Sistemas de Ventilação

Os sistemas de ventilação podem ser divididos em naturais (circulação resulta da diferença de pressão e de temperatura entre o exterior e o interior) e mecânicos (circulação realizada através de um ventilador criando a depressão do local, dando-se a entrada de ar exterior por meio de equipamento destinado ao efeito, sendo que o inverso pode ser realizado), englobando diferentes processos que garantem o fluxo do ar entre o exterior e o interior.

7.3 Equipamentos das Instalações de AVAC

Para a realização da climatização são necessários diversos equipamentos, que asseguram o bom funcionamento do sistema:

- Compressor;
- *Chiller*;
- Caldeira;

- Bomba Elétrica;
- Bomba de calor;
- Ventilador;
- Condensador;
- Evaporador;
- Unidade de Tratamento de Ar (UTA);
- Válvulas.

7.3.1 Compressor

O compressor comprime gás ou vapor, podendo ser do tipo alternativo, centrifugadores, rotativos, de parafuso e espiral. A monitorização deste equipamento é vital, visto que, representam uma parcela significativa dos consumos do sistema.

7.3.2 *Chiller*

O equipamento que realiza o arrefecimento da água, com vista ao arrefecimento da temperatura ambiente ou de equipamentos é designada por *chiller*. Estas máquinas têm um longo período de vida útil e alta eficiência. Podem também ser designadas como Unidades Produtoras de Água Refrigerada (UPAR).

7.3.3 Caldeira

Para produzir calor para o aquecimento ou produção de vapor é utilizada uma caldeira, equipamento que consiste num recipiente acoplado a um queimador (regulável ou de posição), onde um combustível é queimado para produzir o vapor para o aquecimento da água, que percorre o a rede de tubagens chegando aos equipamentos emissores de calor (radiadores) incluídos no sistema. As caldeiras podem ser convencionais ou de condensação (mais eficientes).

7.3.4 Bomba Elétrica

A bomba elétrica assume a função de fazer circular um liquido, podendo assumir funções de elevação do mesmo ou de recirculação. Encontra-se presente em circuitos de água sanitária, circuitos primários e secundários de água quente e refrigerada, bem como, em equipamentos como torres de arrefecimento.

7.3.5 Bomba de calor

A bomba de calor permite o aproveitamento do calor libertado pelo condensador, tendo um funcionamento semelhante ao do ciclo frigorífico. Dividem-se em bombas de absorção (possui absorvedor, gerador, mecanismos de expansão, bomba, evaporador e condensador) ou de compressão (possui compressor, separador de óleo, evaporador, condensador e mecanismo de expansão).

7.3.6 Ventilador

O ventilador é utilizado para movimentar o ar, sendo que existem vários tipos, ente os quais, os axiais e os centrífugos.

7.3.7 Condensador

De forma a arrefecer a temperatura do meio exterior, os condensadores recorrem a um fluido térmico. Dividem-se em três tipos, consoante o tipo de fluido utilizado:

- Condensador arrefecido a água;
- Condensador arrefecido a ar;
- Condensador evaporativo.

7.3.8 Evaporador

No evaporador o fluido recebe o calor do meio a ser arrefecido, dando-se a evaporação. Este equipamento divide-se em dois tipos, consoante o modo de funcionamento:

- Evaporador inundado;
- Evaporador seco.

7.3.9 UTA

Este equipamento trata o ar a ser fornecido ao edifício em causa, através de processos de filtragem, aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação. A UTA arrefece o caudal de ar que a atravessa, através da bateria de arrefecimento. Poderá, consoante o arrefecimento do ar, ocorrer a condensação do vapor de água no próprio ar, dando-se a desumidificação. O aquecimento do ar que atravessa a UTA é realizado por meio de uma bateria de aquecimento. O caudal de ar recirculado e o caudal de ar novo são misturados num componente interno à UTA, designado de caixa de mistura. A humidade do ar pode ser aumentada através de outro dos constituintes da UTA, o humidificador, por meio de injeção de água no estado liquido ou gasoso.

A UTA comporta ainda alguns outros equipamentos como:

- Recuperador de calor: permite economizar energia, sendo necessário cálculos para analise da sua viabilidade económica;

- Filtro de ar: retenção de impurezas presentes no ar atmosférico. Podem ser pré filtros (poeiras finas) ou filtros absolutos (ultrafinas);
- Variador de velocidade: permite uma redução significativa da fatura energética, permitindo um controlo contínuo da velocidade dos motores de indução, convertendo a frequência da rede para outro valor de frequência, controlando assim a velocidade do motor (proporcionalmente à frequência). Visto que as necessidades de um edifício variam consoante as condições exteriores, a ocupação do mesmo e o nível de produção, o variador de velocidade vai permitir adaptar o sistema para as mudanças de circunstancias, advindo deste facto uma maior eficiência energética.

7.3.10 Válvulas

Instaladas na tubagem do sistema, as válvulas permitem estabelecer ou interromper a circulação de um fluido. Dividem-se em válvulas convencionais e em válvulas eletrónicas (mais eficientes subdividindo-se em válvulas do tipo motorizado e do tipo solenóide).

Capítulo 8

Energias Renováveis - Energia Solar

Para o aumento da eficiência energética de um edifício é fundamental aumentar a sua independência energética. Tal pode ser conseguido, com recurso a sistemas de aproveitamento de energias renováveis, como a solar e a eólica, abundantes em Portugal.

8.1 Sistemas de Aproveitamento de Energia Solar

Portugal, pela sua posição geográfica, dispõe de uma média de 2200 a 3000 horas de sol por ano, no continente, e 1700 a 2200, nos Açores e na Madeira, o que permite que os sistemas de aproveitamento de energia solar sejam rentáveis. Assim, são sistemas passíveis de ser implementados na EASR com vista a promover a redução do consumo de energia da rede e, por conseguinte redução de custos.

São dois os principais tipos de tecnologias para aproveitamento de energia solar:

1. Sistema Fotovoltaico (FV): produção de eletricidade;
2. Sistema Solar Térmico: aquecimento de águas sanitárias ou ar ambiente.

É necessário conhecer alguns dos conceitos transversais a estes dois sistemas.
A Radiação Solar pode ser:

- Extraterrestre: fora da atmosfera terrestre, depende da distância do Sol à Terra;
- Terrestre: sensivelmente metade da extraterrestre devido à atenuação sofrida pelo espectro da radiação. A banda visível é refletida por moléculas gasosas e pós (com nuvens 80% desta energia é refletida). Parte da radiação infravermelha é absorvida pelo vapor de água e CO_2. A radiação ultravioleta (com energia muito reduzida) é eliminada pela camada de ozono. A radiação que chega à superfície terrestre pode ser direta ou difusa.

Os conceitos de Irradiância e Irradiação são também importantes. O primeiro diz respeito à potência que incide na superfície por unidade de área (kW/m^2) e o segundo à energia que incide

na superfície por unidade de área durante um período de tempo (irradiação horária, diária, mensal, anual) (kWh/m^2). A Irradiação global é um conceito que compreende as radiações direta e difusa.

De modo avaliar estes parâmetros, e, por conseguinte, a disponibilidade do recurso solar, é necessário conhecer os valores de Radiação e para isso, estudar a posição do sol consoante o local. Para caracterizar e definir essa posição existem alguns ângulos:

- Latitude (L);
- Horário;
- Declinação (δ);
- Azimute Solar (α_s);
- Elevação Solar (γ_s);
- Zenith Solar (θ_z).

De modo a otimizar o aproveitamento da energia solar terão de ser tidos em conta, igualmente:

- Azimute do coletor (α);
- Inclinação do coletor (β) [69].

8.1.1 Sistema Solar Térmico

O sistema solar térmico converte a energia do Sol em calor, através de um coletor solar térmico, colocado no exterior do edifício (na cobertura geralmente), onde circula um fluido de transferência térmica. Para permitir o escoamento deste fluido, é utilizada uma rede de tubagens, conectando o coletor com o deposito de acumulação, onde a energia térmica é armazenada. Este armazenamento possibilita que a água quente seja utilizada nos períodos em que as necessidades não coincidem com a disponibilidade do recurso solar (noite, dias nublados). O sistema poderá garantir até 70% das necessidades de água quente do edifício.

Em aplicações de produção de água quente sanitária, existem 2 tipos de soluções:

- **Termossifão**: todos os componentes do sistema no exterior, sendo o deposito colocado a uma cota superior que a do coletor. O fluido aquece no coletor e fica mais leve com o aumento da temperatura, deslocando-se para o deposito (ponto mais alto), onde a energia é transferida para a água armazenada. O movimento é continuo apenas cessando quando a pressão é baixa ou nula. O deposito recebe água da rede, dispondo de uma saída para fornecer a água quente ao local de consumo;
- **Sistema de circulação forçada**: requer uma bomba de circulação para o movimento do fluido térmico do coletor para o depósito. Isto permite a colocação do deposito num local protegido dos fatores ambientais. A bomba de circulação é controlada através de um sistema de comando que inclui sensores de temperatura, promovendo o seu acionamento apenas quando a temperatura do fluido no coletor for superior à da água no deposito [63].

Existam vários tipos de coletores solares térmicos, entre os quais:

- Planos;
- CPC (Concentradores Parabólicos Compostos);
- Tubos de Vácuo;
- A ar.

Os sistemas de apoio têm o objetivo de repor a temperatura da água nos períodos em que o recurso seja escasso. Os mais utilizados são:

- Resistência elétrica colocada num depósito;
- Caldeira a Gás;
- Esquentador a Gás.

Existem diferentes aspetos a considerar aquando da instalação de um sistema solar térmico, tais como o espaço disponível na cobertura, a orientação e inclinação dos coletores (maximizar a incidência da radiação solar) e as obstruções e sombreamentos existentes [63]. O investimento possui um tempo de retorno de 10 a 12 anos, dependendo da energia de apoio, tipo de instalação a que se destina. O equipamento apresenta um tempo de vida útil de cerca de 20 anos [63].

A tecnologia solar térmica pode ainda ser utilizada para produção de eletricidade, sendo o principio de funcionamento o mesmo que o de uma central a combustível fóssil ou nuclear, em que a energia é utilizada para produzir vapor que alimenta um turbo-gerador

8.1.2 Sistema Solar Fotovoltaico

Com o objetivo de produzir eletricidade existem vários tipos de sistemas fotovoltaicos:

- Microgerações (residencial);
- Minigerações (comercial);
- Centrais Fotovoltaicas;
- *Stand Alone*.

Pode-se ainda dividir a tecnologia FV quanto ao tipo de aplicação:

- Sistemas Isolados ou Autónomos: Eletrificação Rural, Telecomunicações, Iluminação Publica, entre outros;
- Sistemas Ligados à Rede Elétrica: Centrais FV e Edifícios Habitacionais com produção anexa.

Para o dimensionamento destes sistemas existem várias fases indispensáveis:

- Avaliação do Recurso do Local;
- Consumos e Requisitos de Fiabilidade;
- Tecnologias e Configuração do Sistema;
- Características da Instalação;
- Custos da instalação;
- Fiabilidade.

8.1.2.1 Componentes do Sistema FV

Os componentes que constituem um sistema FV são:
a. Célula FV;
b. Painel FV;
c. Controlador de Carga;
d. Bateria;
e. Inversor;
f. Dispositivos de Proteção;
g. Condutores Elétricos.

a) Célula FV

As células FV permitem a transformação da radiação solar em energia elétrica. No seu processo de fabrico são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio (CGIS), telurieto de cádmio (CdTe) ou disselenieto de cobre e índio (CIS). A célula de Silício cristalina é a mais comum, sendo que cerca de 95% de todas as células em utilização são de silício. Este elemento é o segundo mais presente na terra, não existindo como elemento químico, mas sim associado à sílica. Isto obriga a um processo de produção muito refinado, de modo a obter um material com a pureza necessária (a máxima possível) para ser utilizado em células FV [70].

Uma célula comum é constituída por: contactos metálicos, carga e junção p-n. Caso a energia do fotão recebido for superior à energia da banda de condução cria-se um par eletrão lacuna. Devido ao campo elétrico da junção p-n é criada uma corrente elétrica (I_L) impelindo os eletrões a circular pela carga. A tensão da célula deve-se ao efeito de difusão dos portadores na junção p-n. Este efeito e o campo elétrico da junção neutralizam-se, num equilíbrio que depende da corrente da carga.

A recombinação de portadores na junção é diretamente proporcional à tensão externa da célula, dando origem à corrente de díodo (I_D).

No dimensionamento de um sistema FV existem uma série de grandezas características das células que serão importantes:

- I_{SC}: corrente de cc;
- V_{CO}: Tensão de circuito aberto;
- P_{max}: Potência máxima (UxI);
- I_{pmax}: Corrente correspondente ao P_{max};
- V_{pmax}: Tensão correspondente ao P_{max};
- FF: Fator de forma:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} + I_{sc}} \tag{8.1}$$

- η: Rendimento.

A temperatura influencia o funcionamento da célula, sendo que o seu aumento provoca a diminuição da tensão da célula, que por sua vez leva a uma difusão mais larga e menor I_D o que provoca um ligeiro aumento da corrente da célula. Dado que o aumento da temperatura provoca uma diminuição mais significativa da tensão em relação ao aumento da corrente, a potência sofrerá também uma diminuição. Esta diminuição fará aumentar ainda mais a temperatura enfatizando o efeito.

O tipo de célula utilizada nos painéis define diferentes tipos de tecnologias de conversão, divididas em gerações consoante as características, materiais e processo de fabrico das células. Assim podemos observar:

- 1ª Geração: células de silício cristalino (mono ou policristalino);
- 2ª Geração: células de película fina (silício amorfo, CdTe, CIS e CGIS) sobre substratos rígidos (vidro ou cerâmica);
- 3ª Geração: nanotecnologias para formação de películas finas sobre substratos flexíveis;
- 4ª Geração: solar FV de concentração (CPV).

b) Painel FV

Um módulo ou painel FV é constituído por uma ou mais placas solares onde se encontram encapsuladas as células FV, ligadas eletricamente, normalmente em série, mas também em paralelo. A um conjunto de módulos ligados em série e/ou paralelo dá-se o nome de Array ou gerador FV.

Para além das células, o painel conta ainda com uma cobertura de vidro, que deve permitir o atravessamento da luz solar sem quaisquer perdas, por um encapsulamento de silicone EVA, uma lamina de proteção posterior, um aro metálico, cabos e caixas de ligação.

Tal como as células FV, os painéis possuem algumas grandezas características importantes para o dimensionamento do sistema:

$$I_{SCm} = I_{SC} \times N_p \tag{8.2}$$

$$V_{OCm} = V_{OC} \times N_s \tag{8.3}$$

$$R_{Sm} = R_S \times \frac{N_s}{N_p} \tag{8.4}$$

$$V_{tm} = V_t \times N_s \tag{8.5}$$

N_p representa o número de células em paralelo, enquanto que N_s o número de células em série.

A quantidade de energia produzida pelo painel depende da sua área coletora, sendo que quanto maior essa área, mais energia elétrica será gerada. É essencial o correto posicionamento do painel para que o aproveitamento seja máximo, sendo que o ideal seria manter a superfície coletora sempre perpendicular aos raios solares. Esta é, no entanto, uma tarefa que exige mecanismos mecânicos complexos e dispendiosos, inviabilizando o sistema economicamente. Assim procura-se um ângulo intermédio fixo que otimize o aproveitamento nessas condições.

O local de instalação deverá estar livre de obstáculos que provoquem o sombreamento dos painéis, e a distancia entre painéis deve ser definida de modo a evitar, de igual modo, esse fenómeno. Quando, por alguma razão o sombreamento acontece, poderão ser utilizados díodo de passo que efetua o *shunt* da célula, efetuando-se assim a proteção do módulo FV. Podem também ser utilizados díodos de bloqueio, evitando a descida da tensão da serie de painéis (*string*).

Os painéis dispõem de folhas de características que indicam as suas características físicas (dimensões, peso, caixilharia, cabos e conetores e proteções), importantes para definir áreas, potências e configurações, e as suas características elétricas (potência, tensões e correntes características), essenciais para simular a característica de produção. São apresentadas também as características de produção (degradação, produção com a irradiância, variação com a temperatura, característica I-V e certificação).

Os módulos podem ser comercialmente classificados em diferentes tipos, tendo em conta vários fatores:

- Material celular: monocristalinos, policristalinos ou de película fina;
- Material de encapsulamento: teflon ou de resina fundida;
- Tecnologia de encapsulamento: laminagem (Eva ou teflon);
- Tecnologia do substrato: película-fina, vidro-película, metal-película, plástico acrílico ou vidro-vidro;
- Estrutura de armação: com ou sem armação;
- Funções especificas de construção.

c) Controlador de Carga

Instalado eletricamente entre o painel FV e as baterias, o controlador de carga, monitoriza a tensão dos acumuladores das baterias, salvaguardando estas contra as sobrecargas, aumentando assim o período de vida útil. Este controlador permite ainda que as baterias sejam carregadas completamente e evita que descarreguem abaixo de um valor seguro.

Os principais tipos de controladores são:

- Controladores série;
- Controladores *Shunt* (em paralelo);
- Controladores de carga MPP.

d) Bateria

As baterias conferem ao sistema FV a capacidade de armazenamento de energia, permitindo gerir a necessidade de energia (consumo) com a produção, que nem sempre coincidem. Assim, o sistema é capaz de fornecer energia ao sistema em períodos onde não existe produção de energia por ausência de recurso solar.

As baterias de ácido de chumbo, são os elementos mais comuns quando se trata de armazenamento de curta duração nas instalações FV. Estas podem ser dividida em diferentes tipos:

- Baterias Húmidas;
- Baterias de Gel (Baterias VRLA);
- Baterias estacionárias com placas tubulares;
- Baterias de bloco com placas positivas planas.

e) Inversor

A função dos inversores é estabelecer a ligação entre o gerador FV e a rede AC ou a carga AC, com a principal tarefa de converter o sinal elétrico DC do gerador FV num sinal elétrico AC, ajustando-o para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado. Este equipamento é dimensionado em função da potência do sistema FV e da tensão de entrada que se obtém através do somatório dos painéis ligados em série. Como a tensão depende da temperatura, o dimensionamento dos inversores terá de ter em conta o funcionamento em período de Verão e Inverno.

Um inversor típico é constituído por:

- Entrada;
- Unidade MPP;
- Conversores DC/DC;
- *Switching Bridge*;

- Reactância de saída;
- Deteção de correntes de saída DC (funções de proteção);
- Proteção de tensão nula de saída.

Assume diversas funções de controlo, como monitorização de terras, proteções térmicas e de sobretensão, dispondo de portas de comunicação e *display*.

Com base na aplicação pode-se estabelecer a distinção entre inversores:

- Inversores de rede: utilizados nos sistemas com ligação à rede;
- Inversores autónomos: utilizados nos sistemas autónomos.

Para além desta distinção, os inversores de rede podem dividir-se em três grupos, consoante a sua ligação:

- Inversor central;
- Inversor de cadeia de módulos ou de fileira;
- Inversor integrado.

Os inversores autónomos são utilizados para permitir a utilização de aparelhos elétricos AC convencionais a partir da rede DC. Também estes podem ser divididos em diferentes tipos:

- Inversores de onda sinusoidal;
- Inversores trapezoidais.

Tal como os painéis, os inversores dispõem de folhas de características que fornecem informação, fundamental no processo de dimensionamento, sobre:

- Input AC;
- Output DC;
- Curva de Eficiência;
- Características Gerais;
- Proteções.

f) Dispositivos de Proteção

De modo a proteger os diferentes componentes constituintes do sistema FV e a ligação à rede (caso exista), de defeitos variados, como cc e sobretensões, recorre-se a dispositivos de proteção.

Os principais equipamentos de proteção utilizados são:

- Interruptor Principal DC: aquando da ocorrência de falhas ou trabalhos de manutenção, isola o inversor do gerador FV.

- Equipamento de Proteção AC e aparelhos de medida:

  – Disjuntores: contra sobreintensidades, podem ser rearmados depois de disparem. Isolam automaticamente o sistema FV da rede elétrica, caso ocorra sobrecarga ou um cc. São frequentemente usados como interruptores AC;

  – Disjuntores Diferenciais: sensíveis à corrente resíduo-diferencial, "observam" a corrente que flui nos condutores de ida e de retorno do circuito elétrico. Se a diferença entre ambas ultrapassar os 30 mA, atuam isolando o circuito. Dispara caso ocorra uma falha de isolamento, um contacto direto ou indireto;

  – MSD: dois dispositivos independentes de monitorização da rede AC, contando cada um deles com um aparelho de corte automático, estando estes dois interruptores ligados em série entre si;

  – Aparelhos de medida: para alem dos contadores de energia entregue e pedida à rede, é instalado um terceiro contador de energia produzida pelo sistema FV.

g) Condutores Elétricos

Para realizar as ligações elétricas entre os vários componentes do sistema FV são necessários condutores, que devem ser dimensionados de forma a garantir o correto funcionamento do sistema, respeitando todas as especificações técnicas necessárias para o dimensionamento de instalações elétricas.

Para atingir o objetivo são utilizados:

- Cabo de módulo ou de fileira: condutores que estabelecem ligação elétrica entre os painéis individuais de um gerador FV e a caixa de junção do mesmo. São utilizados cabos monocondutores com isolamento duplo ou cabos solares (com melhores características);

- Cabo principal DC: estabelece a ligação entre a caixa de junção do gerador e o inversor. Os cabos utilizados para a função de cabo de módulo podem também ser utilizados como cabo principal DC. Recomenda-se a utilização de cabos monocondutores isolados para as linhas positiva e negativa. Em caso de utilização de cabos multicondutores, o condutor de proteção à terra (verde e amarelo) não deve estar sujeito a qualquer tensão. Para instalações FV que corram o risco de incidência de relâmpagos deverão ser utilizados cabos blindados;

- Cabo do Ramal AC: liga o inversor à rede recetora, através do equipamento de proteção. No caso dos inversores trifásicos a ligação à rede de BT é realizada com recurso a um cabo de 5 polos, enquanto que para inversores monofásicos trata-se de um cabo de 3 polos.

8.1.2.2 Avaliação Económica de um Sistema FV

Os custos de investimento inicial (C_{inv}) determinam os custos de produção (C_{prod}) da energia elétrica gerada, visto que não existem custos adicionais com combustíveis.

A consideração dos custos de produção de energia permite comparar os sistemas FV com outros sistemas de produção de energia, sendo possível calcular os níveis de compensação de cobertura de custos, para os diferentes sistemas de produção e fornecimento de energia elétrica à rede publica de distribuição.

O retorno do capital investido inicialmente, é fundamental para o cálculo dos custos de produção de energia. São considerados os C_{inv} e determinados os custos de operação (C_{op}) (custos operacionais, de manutenção, prémios de seguros, entre outros, que assumem um reduzido peso).

No caso de os sistemas FV terem sido integrados no edifício durante a sua construção, considerando a sua localização no respetivo projeto, os sistemas integrados em fachadas ou telhados podem resultar em poupanças consideráveis em materiais de construção. Isto reflete-se nos custos evitados (C_{ev}). Considerando, ainda, a vida útil do sistema (n), normalmente situada entre 20 a 30 anos, e a energia produzida anualmente pelo sistema FV (E_a), é possível obter os C_{prod}.

$$C_{prod} = \frac{C_{inv} + C_{op} - C_{ev}}{n \times E_a} \tag{8.6}$$

A fórmula acima não considera juros nem valorização do capital, sendo por isso bastante simples. Em caso de consideração dos juros sobre o capital, pode ser utilizado um método dinâmico, que tem em conta o efeito do "juro-do-juro" no período de vida ou de amortização do sistema. O "método das anuidades", como é designado, permite que os C_{inv} e restantes custos, sejam convertidos em custos de capital que se mantêm constantes ano após ano. A formula a aplicar apresenta-se de seguida, consistindo no fator de anuidade (a):

$$a = \frac{p}{1-(1+p)^{-n}} \tag{8.7}$$

O elemento p na expressão 8.7 representa a taxa de juro. O valor a ser descontado no presente (C_0), referente aos pagamentos futuros no âmbito dos C_{op}, pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$C_0 = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{(1+p)^i} \tag{8.8}$$

Onde:

- C_i: pagamentos;
- i: anos operacionais.

Assim os C_{prod} são calculados da seguinte forma:

$$C_{prod} = \frac{(C_{inv} + C_{op} - C_{ev}) \times a}{n \times E_a} \tag{8.9}$$

Capítulo 9

Caso de Estudo

9.1 Caracterização do Caso de Estudo

O caso de estudo desta dissertação prende-se com a melhoria da eficiência energética de uma classe de edifícios muito específica, que são as escolas, tendo com exemplo prático a Escola Artística de Soares dos Reis no Porto, mais precisamente, na Rua Major David Magno 139, 4000-191.

A escola foi alvo de requalificação pela Parque Escolar, como já referido. Assim sendo, neste Caso de Estudo, os manuais elaborados pela mesma serão seguidos aquando do estudo de soluções e apresentação de medidas de eficiência energética.

A EASR está definida como sendo uma escola do tipo MOP/JCETS – Escola Industrial e Comercial [71].

9.1.1 Caracterização da EASR

A EASR, após a intervenção, viu as suas instalações serem aumentadas, contando atualmente com 4 blocos designados de A a D.

O Bloco A conta com 5 pisos, sendo um deles "subterrâneo" (Pisos -1, 0, 1, 2 e 3). O Bloco B e D são constituídos por 3 pisos (0, 1 e 2). O Bloco C conta também com 3 pisos, sendo um deles "subterrâneo" (-1, 0 e 1).

Os principais espaços característicos de uma escola encontram-se distribuídos do seguinte modo.

- Bloco A:
  - Salas destinadas a atividades letivas;
  - Salas administrativas;
  - Salas de trabalho de professores;
  - Loja e Reprografia;

  - PT (localizado no piso -1).

- Bloco B:
  - Áreas oficinais;
  - Anfiteatro;
  - Biblioteca.

- Bloco C:
  - Auditório;
  - Zonas técnicas (casa das máquinas e central térmica).

- Bloco D:
  - Refeitório;
  - Cozinha;
  - Ginásio;
  - Balneários.

Para analisar convenientemente a eficiência energética da EASR, importa conhecer todo o recinto da escola e o tipo de utilização que cada espaço da escola tem atribuído. Para isso é possível consultar as tabelas A.1 a A.14 do Anexo A, que descrevem com mais detalhe a utilização de cada sala.

Num levantamento preliminar às condições da escola foi possível observar que dispunha de um sistema de iluminação controlado manualmente em maior parte dos espaços, não dispondo de equipamento GTC para iluminação.

Em sentido contrário, verificou-se a existência de uma central GTC para os sistemas de AVAC, com monitorização das condições reais e *setpoints* definidos. De notar a existência de um sistema solar FV e um solar térmico, para AQS.

9.2 Fatura de Energia Elétrica

De modo a verificar se a opção tarifária da escola é a ideal, serão analisadas as suas faturas relativas a um período de 12 meses (1 ano), tendo em atenção a distribuição de consumos e preços a pagar. Será comparado o tarifário atual, afeto ao comercializador EDP Comercial, com tarifários de outros comercializadores.

A EASR é alimentada em MT, com contrato de Ciclo Semanal com Feriados. A potência contratada da escola cifra-se em 292,95 kW, enquanto que a potência instalada é de 630 kVA. A Potência requisitada é de 295,95 kVA.

O período em análise será entre Setembro de 2016 e Agosto de 2017. A energia faturada na escola é apresentada na tabela 9.1

Tabela 9.1: Energia Ativa faturada na EASR

Período de Faturação		**Energia Ativa (kWh)**			
Ano	Mês	C	P	SV	Vn
2016	Setembro	19.024,30	6.458,10	3.964,79	6.050,74
	Outubro	22.303,02	7.505,27	3.833,69	7.083,46
	Novembro	22.336,70	10.151,35	3.275,29	5.495,57
	Dezembro	17.114,71	7.286,10	3.423,39	6.456,76
2017	Janeiro	23.711,58	10.631,93	3.477,42	5.438,29
	Fevereiro	20.839,66	9.432,77	3.107,17	4.656,25
	Março	23.940,24	10.315,55	3.606,52	4.911,43
	Abril	14.927,19	4.667,77	3.352,34	6.249,11
	Maio	24.057,08	8.273,33	3.468,42	5.454,31
	Junho	21.041,81	6.769,74	3.668,57	6.546,07
	Julho	14.280,23	5.021,26	2.853,99	4.426,09
	Agosto	9.431,75	2.888,66	2.818,92	4.409,79
Total		233.008,27	89.401,83	40.850,51	67.177,87

Observa-se que a escola apresenta um maior consumo no período de C. Para melhor visualizar estes consumos é apresentado o gráfico da figura 9.1. Nele é possível observar que o consumo é elevado e que sofre quebras ligeiras nos meses das férias letivas do Natal e da Pascoa (dezembro e abril) como seria espectável pelo período que estas abrangem (2 semanas). O mês de agosto apresenta o menor consumo no período do ano, fruto da paragem letiva para férias de Verão.

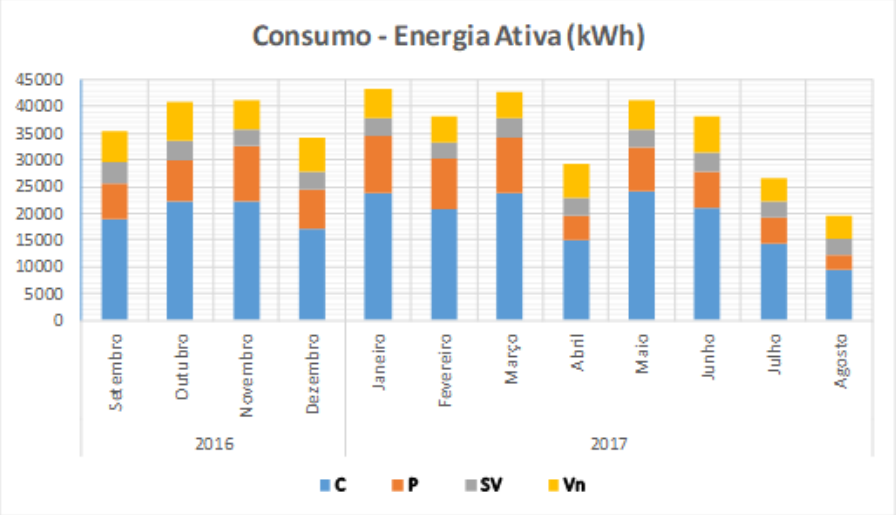


Figura 9.1: Consumo de energia ativa por mês e por período horário

Procede-se de seguida à análise das opções tarifárias disponíveis no mercado (regulado e liberalizado). Obteve-se os tarifários relativos a:

- Mercado Regulado (CUR):
  - EDP Serviço Universal (SU): Tarifas de Longa, Média e Curta Duração
- Mercado Livre:
  - Hen;
  - Gás Natural Fenosa;
  - Energia Simples;
  - LUZBOA;
  - Lógica Energia;
  - Galp.

Para comparar as diferentes opções, considerou-se a multiplicação do valor unitário pela quantidade de energia ativa faturada, para os quatro períodos horários (expressão 9.1). O valor a pagar referente às Redes é calculado do mesmo modo, tendo apenas o cuidado de separar os consumos pelos diferentes períodos trimestrais, e consequentes horas legais (Verão e Inverno), caso dessa mesma divisão constar da proposta da empresa.

$$Total\ Parcial_{Energia\ Ativa/Redes\ Energia} = Valor_{unitario} \times Energia_{Faturada} \tag{9.1}$$

Em que, o total parcial de energia ativa ou de redes é expresso em euros, a energia faturada vem em kWh e o valor unitário em €/kWh.

Os termos de potência (contratada e de horas de ponta) podem ser determinados pela multiplicação do valor unitário pela sua quantidade faturada e pelo número de dias. Em alternativa poderá ser utilizado o valor mensal a multiplicar pela quantidade faturada. É necessário atender a que a análise é feita para um período de 12 meses.

$$TotalParcial_{RedesdePotencia} = Valor_{unitario} \times Quantidade_{Faturada} \times numero_{dedias} \tag{9.2}$$

Mais uma vez, o total parcial é dado em euros, enquanto que a quantidade faturada vem em kWh.

Considerou-se ainda a energia reativa fornecida no vazio. O montante total a pagar pela escola é determinado de forma aditiva, considerando as diferentes componentes acima referidas. Por este facto, não serão tidas em conta, no cálculo, as obrigações tributárias (parcela das faturas), visto terem o mesmo valor em todos os casos.

Serão apresentados valores sem IVA e com IVA, analisando-se depois a poupança possível em caso de alteração de comercializador. De referir que o software utilizado para estas simulações foi o *Excel*.

Devido à extensão da tabela necessária para o cálculo descriminado do valor da fatura do comercializador atual (EDP Comercial), esta será apresentada tabela B.5 do anexo B. Foram tidos em conta os aspetos de alteração das tarifas entre 2016 e 2017, bem como, as variações das Tarifas de Acesso às Redes entre períodos de hora legal. Na tabela 9.2 são apresentados os valores de energia ativa faturados, bem como, os valores totais da fatura, de modo a ser possível a comparação com os outros comercializadores.

Tabela 9.2: Valores do Tarifário atual da EASR (EDP Comercial)

Tarifário atual – EDP Comercial	
Energia Ativa	
Período Horário	Valor Unitário (€/kWh)
P	0,0675
C	0,0639
Vn	0,0478
SV	0,0471
Total faturado	
sem IVA	54 583,64 €
com IVA	67 137,87 €

Os tarifários apresentados de seguida dizem respeito aos diferentes comercializadores supracitados. De referir que para obter estas alternativas foi estabelecido contacto com enumeras empresas comercializadoras. Nesse sentido, as propostas analisadas neste projeto dizem respeito apenas às comercializadoras que se disponibilizaram a fornecer a informação pretendida e necessária.

Relativamente à EDP SU (CUR), e considerando os diferentes tipos de utilização, os diferentes tarifários foram calculados com base na tabela publicada pela ERSE, onde constam as Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais em MT de 2017 (tabela B.1 do Anexo B). Nesta, são obtidos os valores das diversas parcelas necessárias ao cálculo das Tarifas de curtas, médias e longas utilizações:

- Termo Tarifário Fixo;
- Termos de Potência (dependendo do tipo de utilização);
- Termos de Energia Ativa (dependendo do tipo de utilização e do período).

Nas tabelas B.2 a B.4 do anexo B, apresenta-se o cálculo descriminado destas tarifas, e na tabela 9.3 é apresentado o custo, com e sem IVA, das tarifas deste comercializador em MR.

Tabela 9.3: Valores dos Tarifários da EDP SU

Tarifário EDP SU		
Tarifa	sem IVA	com IVA
Curtas Utilizações	75.831,12 €	93.272,28 €
Médias Utilizações	64.836,02 €	79.748,31 €
Longas Utilizações	63.693,28 €	78.342,73 €

Em relação aos comercializadores em ML, serão apresentados os valores unitários e os cálculos efetuados para chegar ao valor da respetiva tarifa (tabelas 9.4 a 9.15). Os preços relativos às Tarifas de Acesso às Redes podem ser consultadas junto da ERSE, e são pagas independentemente do comercializador.

Os valores unitários da proposta da Gás Natural Fenosa vêm explícitos na tabela 9.4. Note-se que aglutinam já os preços de Energia Ativa com os preços relativos à utilização das redes.

Tabela 9.4: Valores unitários (€/kWh) da empresa Gás Natural Fenosa

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,1092	0,0994	0,0725	0,0651

De seguida, é apresentado o processo de cálculo da tarifa relativa a este comercializador (método descrito anteriormente).

Tabela 9.5: Tarifário da comercializadora Gás Natural Fenosa

Tarifa Gás Natural Fenosa					
Energia ativa + Redes		Horas P	Horas C	Horas Vn	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,1092	0,0994	0,0725	0,0651
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	9.762,68 €	23.161,02 €	4.870,40 €	2.659,37 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,264099		0,039748	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		53.697,24 €			
IVA 23%		12.350,37 €			
Total da Fatura com IVA		66.047,61 €			

Os valores unitários da proposta da comercializadora Hen apresentam-se na tabela 9.6. condensam, tal como a empresa anterior, os preços de energia ativa com os preços relativos às redes.

Tabela 9.6: Valores unitários (€/kWh) da empresa Hen

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,1158	0,1044	0,0764	0,0678

Segue o valor da tarifa resultante da proposta desta empresa.

Tabela 9.7: Tarifário da comercializadora Hen

Tarifa Hen					
Energia ativa + Redes		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,1158	0,1044	0,0764	0,0678
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	10.352,73 €	24.326,06 €	5.132,39 €	2.769,66 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,2641		0,0397	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		55.824,62 €			
IVA 23%		12.839,66 €			
Total da Fatura com IVA		68.664,29 €			

A Tabela 9.8 apresenta os valores unitários da proposta da comercializadora LUZBOA. Neste caso os valores dizem respeito apenas à faturação da energia ativa. Terão de ser adicionados os valores relativos às redes, descriminando-os por períodos de hora legal. Na tabela 9.9, observa-se os valores da proposta desta empresa.

Tabela 9.8: Valores unitários (€/kWh) da empresa LUZBOA

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,061	0,055	0,053	0,046

Tabela 9.9: Tarifário da comercializadora LUZBOA

Tarifa LUZBOA					
Energia ativa		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,061	0,055	0,053	0,046
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	5.453,51 €	12.815,45 €	3.560,43 €	1.879,12 €
Redes		Períodos I e IV			
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,0463	0,0401	0,0221	0,0212
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	2.561,45 €	5.222,86 €	752,32 €	439,34 €
		Períodos II e III			
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,046	0,0398	0,022	0,0214
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	1.567,63 €	4.089,94 €	728,99 €	430,72 €
	Total Parcial	4.129,08 €	9.312,80 €	1.481,32 €	870,06 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,2641		0,0397	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		52.745,55 €			
IVA 23%		12.131,48 €			
Total da Fatura com IVA		64.877,03 €			

A comercializadora Energia Simples descrimina, também, os seus preços de energia ativa, adicionando depois os preços relativos às redes de energia, tendo em conta as horas legais. Na tabela 9.10 apresenta-se a sua proposta para os preços de energia ativa e na tabela 9.11 o valor total da sua tarifa.

Tabela 9.10: Valores unitários (€/kWh) da empresa Energia Simples

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,056945	0,056275	0,050355	0,045745

Tabela 9.11: Tarifário da comercializadora Energia Simples

Tarifa Energia Simples					
Energia ativa		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,056945	0,056275	0,050355	0,045745
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	5.090,99 €	13.112,54 €	3.382,74 €	1.868,71 €
Redes	Períodos I e IV				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,0463	0,0401	0,0221	0,0212
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	2.561,45 €	5.222,86 €	752,32 €	439,34 €
	Períodos II e III				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,046	0,0398	0,022	0,0214
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	1.567,63 €	4.089,94 €	728,99 €	430,72 €
	Total Parcial	4.129,08 €	9.312,80 €	1.481,32 €	870,06 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,2641		0,0397	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		52.492,01 €			
IVA 23%		12.073,16 €			
Total da Fatura com IVA		64.565,17 €			

De seguida, apresenta-se a opção da comercializadora Galp, cujos valores unitários conduziram a um valor total de tarifa que pode ser observado na tabela 9.13. Os valores da tabela 9.12, não incluem os preços relativos às redes de energia.

Tabela 9.12: Valores unitários (€/kWh) da empresa Galp

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,1216	0,1112	0,0809	0,0713

Tabela 9.13: Tarifário da comercializadora Galp

Tarifa Galp					
Energia ativa		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,065200	0,060500	0,049900	0,044300
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	5.829,00 €	14.097,00 €	3.352,18 €	1.809,68 €
Redes	Períodos I e IV				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,0463	0,0401	0,0221	0,0212
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	2.561,45 €	5.222,86 €	752,32 €	439,34 €
	Períodos II e III				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,046	0,0398	0,022	0,0214
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	1.567,63 €	4.089,94 €	728,99 €	430,72 €
	Total Parcial	4.129,08 €	9.312,80 €	1.481,32 €	870,06 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,2641		0,0397	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		54.124,89 €			
IVA 23%		12.448,72 €			
Total da Fatura com IVA		66.573,61 €			

A última proposta aqui apresentada é a da comercializadora Logica Energy, que apresenta os preços de energia ativa e redes de energia aglutinados (tabela 9.14). O Valor da fatura é observável na tabela 9.15

Tabela 9.14: Valores unitários (€/kWh) da empresa Logica Energy

Período Horário	P	C	Vn	SV
Valor Unitário (€/kWh)	0,1216	0,1112	0,0809	0,0713

Tabela 9.15: Tarifário da comercializadora Logica Energy

Tarifa Logica Energy					
Energia ativa + Redes		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€/kWh)	0,1216	0,1112	0,0809	0,0713
	kWh	89401,83	233008,27	67177,87	40850,51
	Total Parcial	10.871,26 €	25.910,52 €	5.434,69 €	2.912,64 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	8,033		1,209	
	€/dia	0,2641		0,0397	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	9.000,08 €		4.243,59 €	
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		58.372,89 €			
IVA 23%		13.425,76 €			
Total da Fatura com IVA		71.798,65 €			

De maneira a facilitar a comparação das as diversas tarifas e verificar a sua variação (numérica e percentual) perante o tarifário atual da EASR, elaborou-se a tabela da Tabela 9.16, de onde será possível retirar as conclusões quanto ao tarifário mais vantajoso para a escola. De referir que os valores apresentados incluem o IVA.

Tabela 9.16: Comparação das Tarifas anuais das diversas empresas em estudo

Comercializador		Valor Fatura c/ IVA	Diferença (€)	Diferença (%)
EDP Comercial (Atual)		67.137,87 €	0,00 €	0,0%
EDP SU	Tarifa de Curta Utilização	93.272,28 €	26.134,41 €	28,0%
	Tarifa de Média Utilização	79.748,31 €	12.610,43 €	15,8%
	Tarifa de Longa Utilização	78.342,73 €	11.204,86 €	14,3%
Gás Natural Fenosa		66.047,61 €	-1.090,26 €	-1,7%
Hen		68.664,29 €	1.526,42 €	2,2%
LUZBOA		64.877,03 €	-2.260,84 €	-3,5%
Energia Simples		64.565,17 €	-2.572,70 €	-4,0%
Galp		66.573,61 €	-564,26 €	-0,8%
Logica Energy		71.798,65 €	4.660,78 €	6,5%

Na tabela é possível observar a diferença de todos os tarifários apresentados para o atual, pautado pela escala de cores:

- Intensidade da cor verde crescente: mais positivo;
- Amarelo, laranja e intensidade crescente de vermelho: mais negativo (pela ordem descrita).

Com este auxilio, facilmente se constata que todos os tarifários da EDP SU são desvantajosos em relação ao atual, assim como os das comercializadoras Logica Energy e Hen. No sentido

oposto, e apontando para uma mudança de comercializador no mercado livre, encontram-se as propostas da Gás Natural Fenosa, LUZBOA, Energia Simples e Galp, todas apresentando redução de custos face à atual fatura. A que apresenta uma maior redução de custos é a Energia Simples, que permite uma poupança de cerca de 4% em relação à tarifa atual, significando um montante de 2.572,70 €. Assim,propõe-se a mudança de fornecedor de energia para o comercializador Energia Simples.

9.3 Sistema de Iluminação

Nesta subsecção, será objeto de estudo prático o sistema de iluminação da EASR. O objetivo passa por estudar a conformidade dos valores de iluminância dos diferentes espaços da escola com os valores especificados, bem como reduzir o consumo relativo a este sistema aumentado a eficiência energética do edifício.

De modo a atingir a meta proposta, recorre-se ao estudo de implementação de diferentes medidas, como a redução da potência das lâmpadas e alteração das lâmpadas existentes para LED.

Nesta fase do projeto, utilizou-se o software DIALux, disponível de forma gratuita, para o estudo luminotécnico dos diferentes espaços escolares. Este permite a análise de aspetos como:

- Distribuição fotométrica das luminárias;
- Definição da altura do plano de uso;
- Definição da zona periférica ao plano de uso;
- Definição coeficiente de reflexão das superfícies;
- Definição do tipo de luminária e lâmpada;
- Obtenção dos valores uniformidade e de iluminância máxima, mínima e média.

Ao longo de todo o estudo foram consultados e respeitados os documentos relativos à norma europeia EN 12464-1:2002 (“Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places) [72] e ao manual da Parque Escolar, que fornecem indicações quanto a diversos parâmetros fundamentais nesta análise.

9.3.1 Especificações Técnicas

Para a correta análise deste caso é necessário conhecer as especificações técnicas a respeitar.

Sabe-se que a iluminação interior deve ser projetada adequadamente para a utilização e condições ambientais de cada tipo de espaço. Nesse sentido, a Parque Escolar elaborou uma secção relativa à iluminação interior, inserida no manual onde apresenta as especificações técnicas de instalações especiais [73]. A secção foi elaborada consoante as diretrizes da norma EN 12464-1:2002, ao mesmo tempo que adaptada aos objetivos especificados pela Parque Escolar para as escolas portuguesas.

Entre as especificações encontra-se o nível de iluminação nos diferentes espaços funcionais. É apresentada, no manual, uma tabela com a correspondência entre a nomenclatura dos espaços constantes na norma (versão inglesa), e a lista de espaços tipificados da escola. Esta será apresentada em anexo nesta dissertação (anexo C), e servirá de base para a avaliação do nível de iluminação real nas instalações. A Parque Escolar indica que a alteração do nível de iluminação deve ser feita por meio de substituição das lâmpadas.

Definiram-se ainda alguns critérios para o cálculo luminotécnico:

- Software a utilizar: compatível com as marcas dos fabricantes (DIALux ou Relux);
- Valor médio de iluminância: variável consoante o tipo de utilização do espaço em questão (tabelado na norma e no manual da Parque Escolar), sendo que para as salas de aula e oficinas tem-se 500 lux;
- Plano de trabalho: 0,80 m;
- Uniformidade: superior a 0,5 (calculada excluindo a moldura de 0,4 m em torno da sala);
- Zona marginal: 0,40 m;
- Valores de reflexão:
  - Pavimento: 20%;
  - Paredes: 50%;
  - Teto: 70%.
- Fluxo luminoso nominal considerado para uma temperatura de 25 ºC

Relativamente à potencia instalada e eficiência energética, estabeleceu-se, como referência, que as soluções de iluminação, para espaços com um nível especificado de 500 lux, não podem exceder uma potência de 10W/m^2. Para espaços com outro nível especificado, o valor de referência deve ser proporcional ao mencionado (não ultrapassando os 2W/m^2/100 lux). Estes valores devem ser conseguidos cumprindo o nível de iluminação exigido para cada espaço funcional, e têm por objetivo, a minimização dos custos de exploração e manutenção. O projeto inclui, portanto, um quadro com: designação dos diferentes tipos de espaço, área útil, potência instalada e W/m^2.

O manual apresenta também especificações quanto ao tipo de luminária a utilizar. Estas devem ter curvas fotométricas devidamente comprovadas por laboratório independente. As lâmpadas fluorescentes devem apresentar as seguintes características:

- *Ra* entre 80 e 100;
- *Tc* de 4000k.

9.3.2 Iluminação Existente

De modo a caraterizar o sistema de iluminação instalado no edifício foi necessário determinar diferentes parâmetros relativos aos diferentes espaços (área útil, pé direito, altura e comprimento) e realizar o levantamento dos equipamentos instalados no edifício (luminárias, lâmpadas e aparelhos de comando). Esta tarefa foi possível com o auxilio do *software* AutoCAD, que continha as plantas da escola e projeto de circuito de iluminação, bem como, através consulta das pastas de projeto presentes nas instalações do técnico de manutenção na EASR.

Constatou-se que a escola possui 1740 luminárias (na sua maioria da marca Osvaldo Matos), o que representa um total de 1967 lâmpadas, de diferentes potências. Estas distribuem-se por espaços com diferentes utilizações. Na tabela 9.17 contabiliza-se a quantidade total de luminárias, bem como a descriminação entre a utilização de áreas letivas e oficinas.

Tabela 9.17: Luminárias por área de utilização na EASR

	Áreas Letivas	**Oficinas**	**Valor Total**
Nº de Luminárias	1194	546	1740
Nº de Lâmpadas	1232	735	1967

Existe um leque de lâmpadas com potências distintas em utilização na escola. Para o estudo da eficiência energética do sistema de iluminação, selecionaremos as que representam maior peso no consumo energético (quer pelas suas quantidades, quer pelos seus consumos), e por isso, aquelas que compensarão possíveis investimentos em ajustes ao sistema atual. Em comum, têm o facto de serem lâmpadas fluorescentes T5 de cor 840. Nesse sentido é possível observar, na figura 9.2 a quantidade total das principais potências de lâmpadas aplicadas nos espaços da escola. Constata-se que as lâmpadas de 80W predominam (1220), seguidas das de 54W (255).

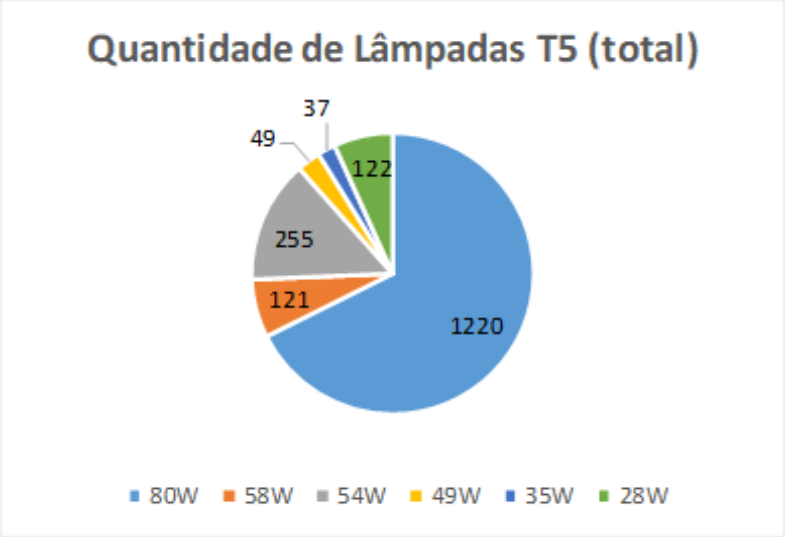


Figura 9.2: Quantidade total de lâmpadas T5 na EASR

A distribuição de cada potência de lâmpada por utilização pode ser observada na figura 9.3. As áreas letivas albergam maior número de lâmpadas do que as oficinas, sendo natural devido à maior quantidade de espaços destinados a esse fim. No entanto, os espaços destinados às oficinas representam uma parcela significativa da escola, estando concentrados no Bloco B, que possui ainda algumas áreas letivas. O Bloco A, de maior dimensão que os restantes, alberga maioritariamente espaços destinados a áreas letivas. O Bloco C e D, contendo espaços importantes para a dinâmica da escola, não representam porem grande percentagem deste número total de lâmpadas, ao contrário dos dois primeiros blocos.

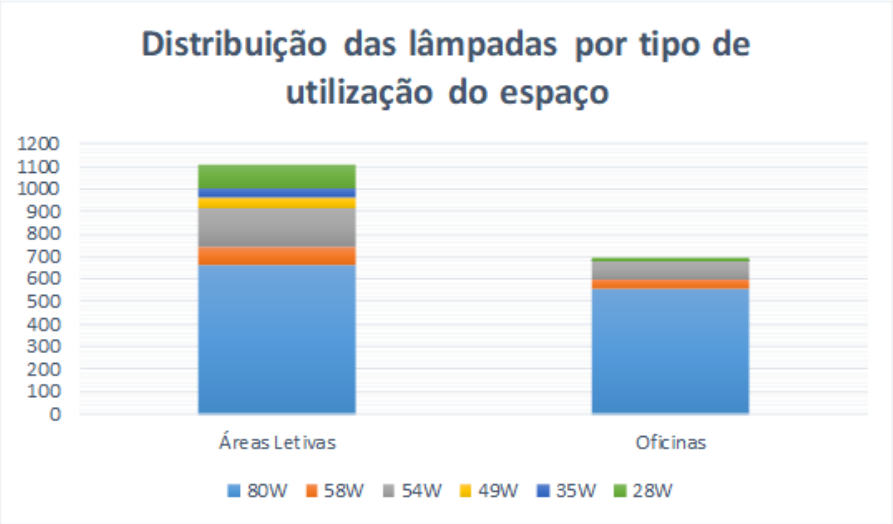


Figura 9.3: Distribuição das diferentes lâmpadas por tipo de utilização do espaço

9.3.3 Qualidade de Iluminação Atual

Para a avaliação da qualidade de iluminação atual do edifício, recorreu-se a utilização do software DIALux e à medição dos valores reais de iluminância na EASR, com um lúximetro. No DIALux é possível simular os diferentes espaços da escola, inserindo as dimensões do espaço, disposição fotométrica das luminárias, altura de plano de uso, coeficientes de reflexão das superfícies e o tipo de luminária e lâmpada utilizadas.

O objetivo será determinar os valores de iluminância (máximo, mínimo e médio), bem como, a uniformidade de iluminação e, de modo averiguar a qualidade de iluminação, comparar os valores obtidos no DIALux com os especificados no manual da Parque Escolar e na norma EN 12464-1:2002. Os valores de iluminância obtidos no local pelo lúximetro permitem validar os resultados obtidos pelo DIALux, e apoiar a identificação de conformidade e discrepâncias do sistema de iluminação face à norma.

Uma vez que as luminárias em utilização na escola, da marca Osvaldo Matos, não dispunham de ficheiros LDT disponíveis para inserção no DIALux (mesmo após contacto direto com a empresa) não foi possível a realização da simulação do sistema real e atual da escola, pelo que, se

optou por aplicar um estudo distinto do proposto inicialmente. Serão apresentadas três soluções:

- **Solução 1:** Dimensionar o novo sistema de iluminação completo com substituição das luminárias existentes por luminárias LED;
- **Solução 2:** Proposta combinada com redução de potência das lâmpadas fluorescentes T5 nos espaços que ultrapassem o nível de iluminação de referência (estudo proporcional) e substituição por luminárias LED, nos espaços que apresentarem consumos muito elevados;
- **Solução 3:** Redução de potência das lâmpadas T5 (estudo proporcional).

Dado às dimensões avultadas do edifício, e a existência de diversos espaços idênticos entre si, foram definidos um conjunto de espaços tipo, para otimizar o estudo a ser realizado. Apresentam-se na tabela 9.18 os espaços tipo definidos.

Tabela 9.18: Espaço Tipo definidos para o estudo luminotécnico

Espaços Tipo		
Refeitório/Cafetaria	Loja/Papelaria/Reprografia	Oficinas tipo 1 e 2
Ginásio	Sala de trabalho de DT	Laboratórios
Balneário	Sala de Projeto tipo 1 e 2	Laboratório de Informática
Instalações Sanitárias (I.S.)	Sala de aula tipo 1 e 2	Gabinetes de atividades
Circulações	Sala de desenho com estiradores	Gabinetes Administrativos
Biblioteca	Sala de desenho com cavaletes	Gabinetes tipo 1, 2 e 3
Secretaria	Sala Geometria	

9.3.4 Solução 1: LED

Serão de seguida, analisadas as condições atuais e, apresentado o estudo de dimensionamento do sistema de iluminação com recurso à tecnologia LED, de cada espaço tipo acima definido. Os valores obtidos serão utilizados também na solução 2 (nos casos selecionados para a mudança para LED na solução 2) para o posterior cálculo económico.

9.3.4.1 Refeitório/Cafetaria

Como referido foi realizado a medição no nível de iluminação real dos espaços da escola com recurso a um luxímetro, sendo que se obteve um valor de 305 lux de iluminância média no espaço refeitório. Este valor está acima do valor de referência de 200 lux para este tipo de espaço. O sistema atual de iluminação deste espaço conta com 8 luminárias fluorescentes de 80W.

Procedeu-se, então, ao dimensionamento do sistema de iluminação LED neste espaço. Através do DIALux foi possível projetar uma solução otimizada para o Refeitório. Na tabela 9.19 são apresentados os valores de dimensionamento importantes obtidos no processo:

- Número de luminárias;
- P_{ind}: potência individual de cada luminária (W);

- Em: iluminância média
- Emin: iluminância mínima;
- Emax: iluminância máxima;
- W/m^2: potência por metro quadrado.

Tabela 9.19: Parâmetros obtidos no DIALux para o Refeitório

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
9	43	200	184,8	462	0,40	1,97

Todos os parâmetros presentes na tabela devem estar de acordo com a norma [72] e com os manuais da Parque Escolar. Como se pode observar o valor de Em atingido é exatamente o valor de referência e o valor de W/m^2 respeita o limite máximo de 4 W/m^2, valor instituído para espaços com 200 lux como valor de referência de iluminância.

Na figura 9.4 é possível observar as curvas isométricas geradas no DIALux.

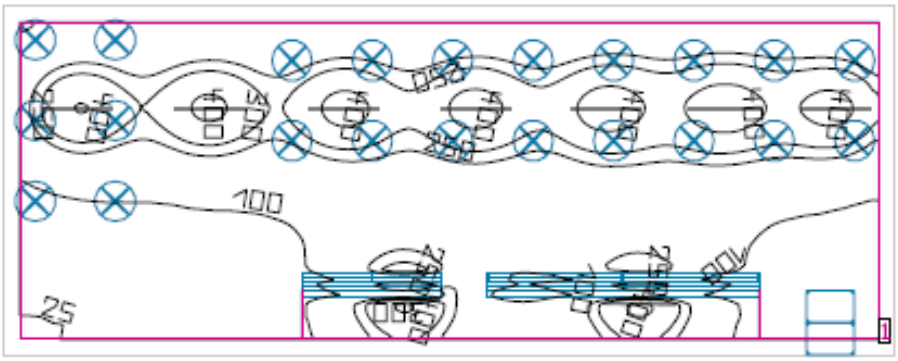


Figura 9.4: Curvas isográficas do espaço tipo refeitório

A luminária LED proposta para espaço é o modelo Tubo 50 *Frost Surface-mounted* (saliente de referência 42178), marca OM, de potência 43W e *Tc* de 4000K. O seu fluxo luminoso é de 6640 lm e possui 131,2 lm/W de rendimento luminoso. Como indicado na tabela 9.19 propõe-se a instalação de 9 luminárias.

9.3.4.2 Ginásio

Para o Ginásio a iluminância medida no local foi de 323,75 lux, valor acima do valor de referência (300 lux) mas ainda dentro da tolerância de 20% desse valor. Por essa razão a redução de potência não seria aplicável. Atualmente este espaço conta com 81 luminárias com lâmpadas fluorescentes de 54W.

O dimensionamento (DIALux) para as luminárias LED neste espaço originou a solução otimizada, cujos parâmetros se encontram na tabela 9.20.

Tabela 9.20: Parâmetros obtidos no DIALux para o Ginásio

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
28	43	306	192	365	0,53	4,13

Analisando a tabela verifica-se que o valor de Em atingido se encontra muito próximo do valor de referência e que o valor de uniformidade recomendado é respeitado. O valor de 4,13 W/m^2 neste espaço respeita o valor máximo de 6 W/m^2 (em espaços com valor de referência de 300 lux).

Na figura 9.5 observam-se as curvas isográficas para este espaço.

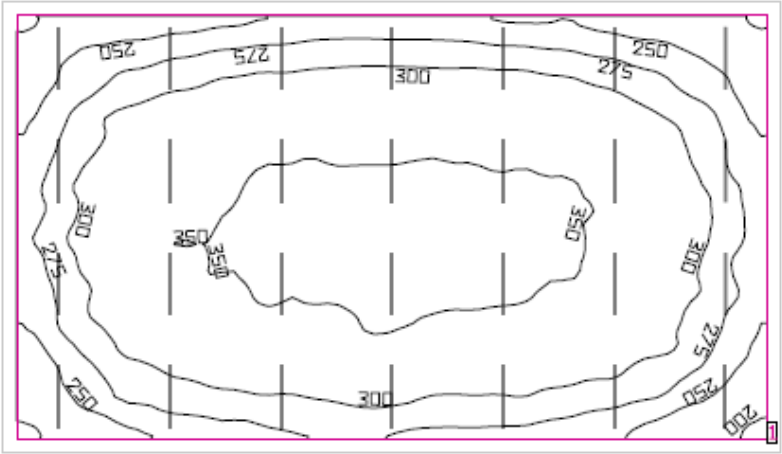


Figura 9.5: Curvas isográficas do espaço tipo ginásio

A luminária proposta para este espaço é novamente a Tubo 50 *Frost Surface-mounted* de 43W da OM, sendo que a quantidade necessária se fixa em 28 unidades.

9.3.4.3 Balneário

O nível medido de iluminância neste espaço foi de 97,17 lux. Este valor encontra-se bastante abaixo dos 200 lux de referência para este tipo de espaços. Atualmente este espaço conta com 4 luminárias com lâmpada fluorescente de 49W.

Na tabela 9.21 estão explícitos os valores obtidos no DIALux para o dimensionamento do sistema LED neste espaço tipo.

Tabela 9.21: Parâmetros obtidos no DIALux para o Balneário

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
2	58	201	162,4	406	0,40	4

O valor de Em é praticamente igual ao valor de referência sendo que o valor de W/m^2 se encontra mesmo no limite de 4 W/m^2.

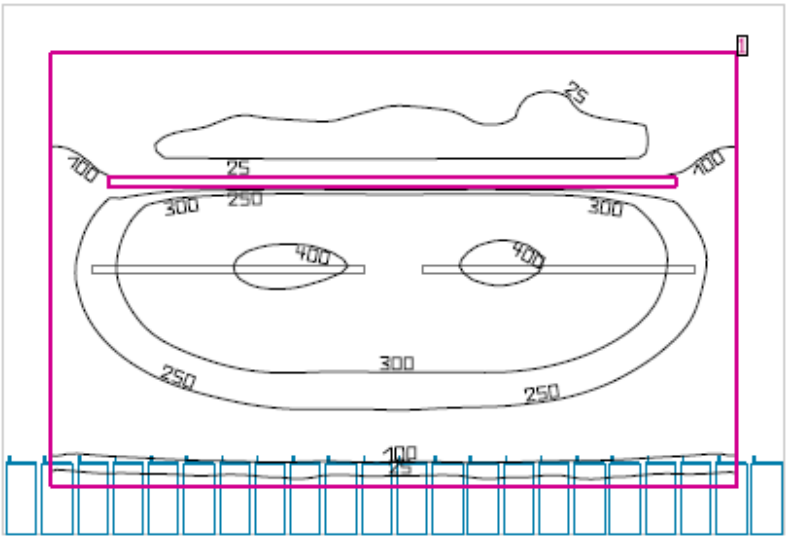


Figura 9.6: curvas isográficas do espaço tipo balneário

Para esta solução são propostas 2 luminárias LED de encastrar no teto, da marca OM (referência 32088), de modelo U60 *Recessed*. A sua potência é de 58W com uma *Tc* de 4000K. O rendimento luminoso situa-se nos 76,2 lm/W e o fluxo luminoso nos 4421 lm.

9.3.4.4 Instalações Sanitárias

O sistema atual deste espaço tipo é constituído por 10 luminárias com lâmpada fluorescente de 28W. A medida da iluminância no local revelou um valor médio de 461,92 lux, mais do dobro do valor de referência, situado nos 200 lux.

Para o dimensionamento LED obtiveram-se os valores constantes na tabela 9.22.

Tabela 9.22: Parâmetros obtidos no DIALux para as I.S.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
3	35	216	179,5	359	0,50	4

Foi possível atingir um valor de Em próximo do valor de referência e dentro da gama de 20% de tolerância. Também este espaço apresenta um valor de 4 W/m^2, valor limite, respeitando-o.

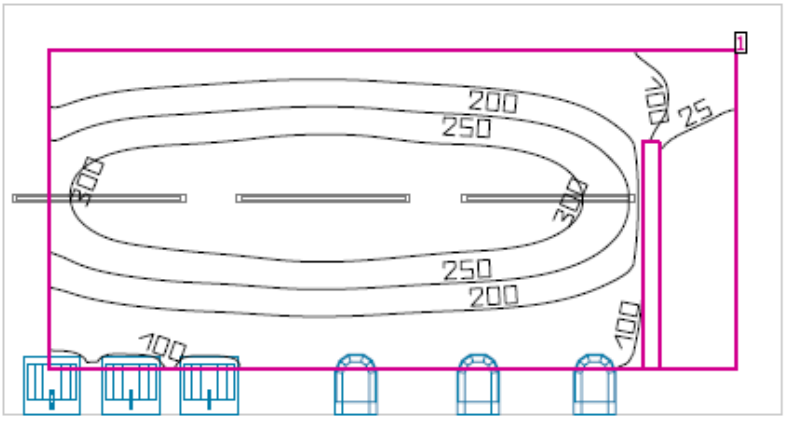


Figura 9.7: curvas isográficas do espaço tipo I.S.

A proposta para este espaço conta com 3 luminárias de encastrar no teto da marca EEE – Empresa de Equipamento Elétrico, S.A., modelo TPHLN 01 15014-03 com potência de 35W com *Tc* de 4000K e *Ra* de 80. O fluxo luminoso desta luminária é de 2244 lm e o seu rendimento luminoso situa-se em 64,1 lm/W.

9.3.4.5 Circulações

Os corredores de circulação dos vários blocos são similares pelo que se dimensionou um exemplar, sendo os resultados válidos para os restantes. Atualmente, estes espaços contam com 7 luminárias de lâmpada fluorescente de 49W. O valor de Em medido no local foi de 241,67 lux, acima do dobro dos 100 lux de referência.

O estudo da aplicação de LED neste espaço tipo revelou a solução otimizada apresentada na tabela 9.23

Tabela 9.23: Parâmetros obtidos no DIALux para os corredores de circulação.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
2	43	120	182,7	609	0,30	1,36

Para espaço tipo, em que o valor de Em de referência é de 100 lux o valor limite especificado de W/m^2 é de 2, sendo que se obteve um valor inferior. O valor de Em possível encontra-se no limite superior da tolerância de 20% (120 lux) para espaços com este valor de referência.



Figura 9.8: Curvas isográficas do espaço tipo circulações

Esta proposta conta com 2 luminárias LED suspensas, da marca OM, modelo Tubo 50 *Frost Pendant* (referência 42338), cuja potência é de 43W. Apresentam um valor de *Tc* de 4000K e 80 de *Ra*. O fluxo luminoso é de 5640 lm e o rendimento luminoso de 131,2 lm/W.

9.3.4.6 Biblioteca

O valor de Em nestes espaços pode estar compreendido entre os 300 e os 500 lux, sendo que o valor medido no local foi de 240,58, encontrando-se este espaço iluminado abaixo das necessidades de iluminação para a sua utilização. O sistema atual é constituído por 11 luminárias de lâmpada fluorescente de 54W.

A tabela 9.24 apresenta os parâmetros dimensionados para o sistema LED neste espaço.

Tabela 9.24: Parâmetros obtidos no DIALux para a biblioteca.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
9	43	301	276	575	0,48	3,77

Atingiu-se um valor de Em de 301 lux dentro da gama de referência e o valor de W/m^2 obtido também respeita o limite.

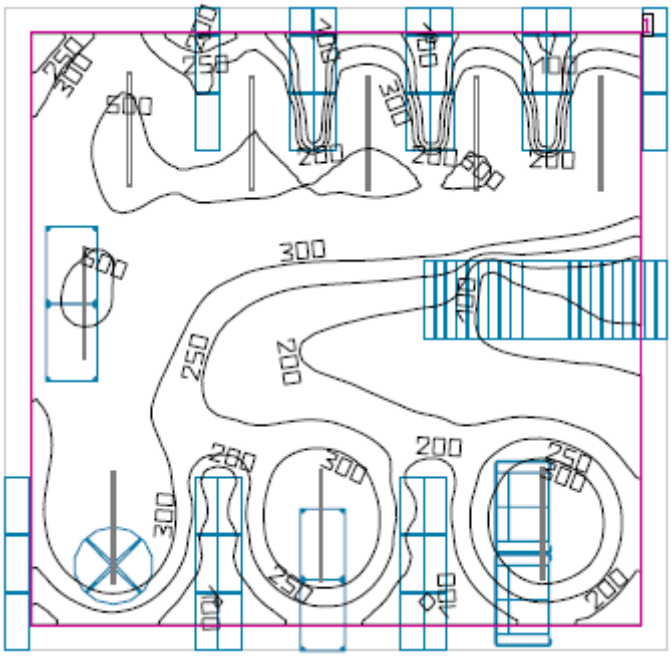


Figura 9.9: Curvas isográficas do espaço tipo biblioteca

Neste espaço é proposta a instalação de 9 luminárias LED OM do modelo Tubo 50 *Frost* saliente de 43W já referido acima.

9.3.4.7 Secretaria

O sistema atual deste espaço conta com 10 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W, tendo sido obtido o valor de 543 lux de Em no local, estando portanto dentro dos valores toleráveis, sendo que, o valor de referência para este tipo de espaço é de 500 lux. Apresenta-se na tabela 9.25 os parâmetros dimensionados para o sistema LED. Note-se que, como já referido, para espaços com valor de referência de 500 lux o limite de potência é de 10 W/m^2.

Tabela 9.25: Parâmetros obtidos no DIALux para a Secretaria.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
12	43	538	366	686	0,53	5,83

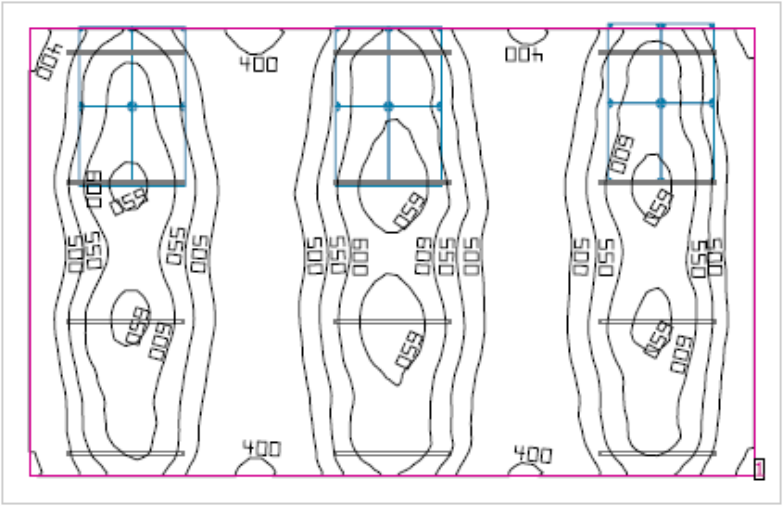


Figura 9.10: Curvas isográficas do espaço tipo secretaria

As luminárias LED propostas para este espaço são as Tubo 50 *Frost* salientes de 43W da OM, perfazendo um total de 12.

9.3.4.8 Loja

Este espaço possui um valor de referência de 300 lux para Em, sendo que no local se verifica um nível de iluminação de 307,17, estando portanto a respeitar o valor normalizado. Estão instaladas 9 luminárias de lâmpada fluorescente de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.26 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.26: Parâmetros obtidos no DIALux para a Loja.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
4	43	308	166	448	0,37	3,27

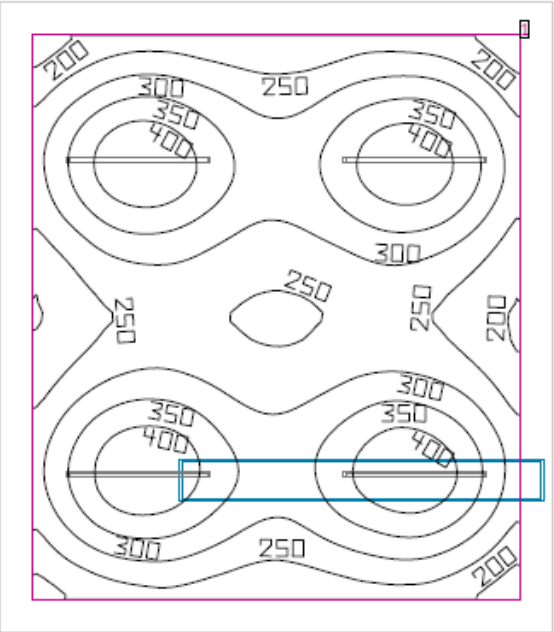


Figura 9.11: Curvas isográficas do espaço tipo Loja

A proposta conta com 4 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.9 Sala de Trabalho de Diretores de Turma

O sistema atual deste espaço é constituído por 12 luminárias de lâmpada fluorescente de 80W, sendo que o seu nível de iluminação de referência é 500 lux. O valor medido no local foi de 489 lux, um pouco abaixo do nível de referência, estando, no entanto, dentro do limite mínimo tolerável para o tipo de utilização deste espaço (400 lux).

Apresenta-se na tabela 9.27 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.27: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de trabalho de DT.

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
8	43	572	418	683	0,61	6,4

A proposta conta com 8 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

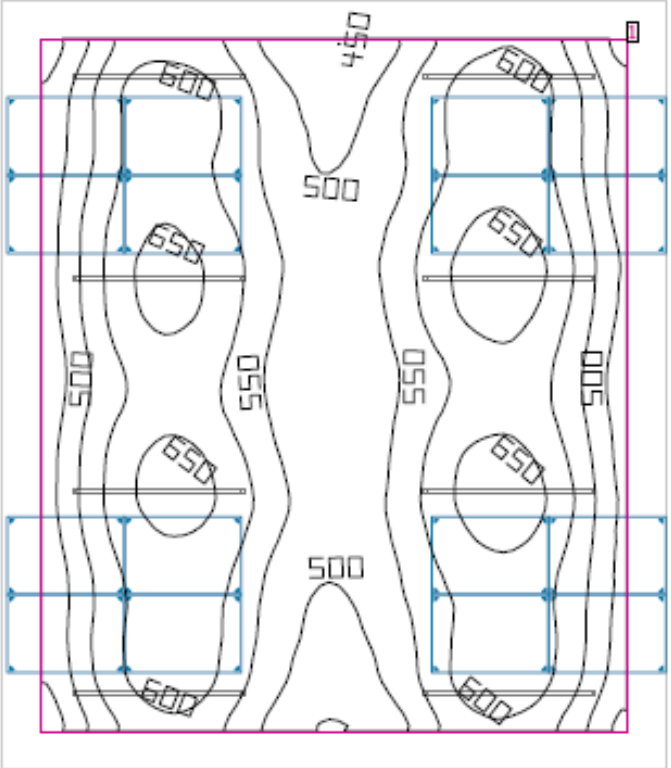


Figura 9.12: Curvas isográficas do espaço tipo sala de trabalho de DT

9.3.4.10 Sala de Projeto Tipo 1

Nas instalações da escola existem espaços distintos destinados ao mesmo fim, sendo ele o de projeto, sendo por isso divididos em diferentes tipos, sendo este o primeiro deles. As salas de projeto de tipo 1 contam com um sistema atual de 20 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W. O nível iluminação de referência é de 500 lux, sendo que o registado no local foi de 547,2 lux, estando, portanto, dentro do limite tolerável superior.

Apresenta-se na tabela 9.28 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.28: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de projeto tipo 1

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
12	43	509	377	633	0,60	5,32

A proposta conta com 12 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

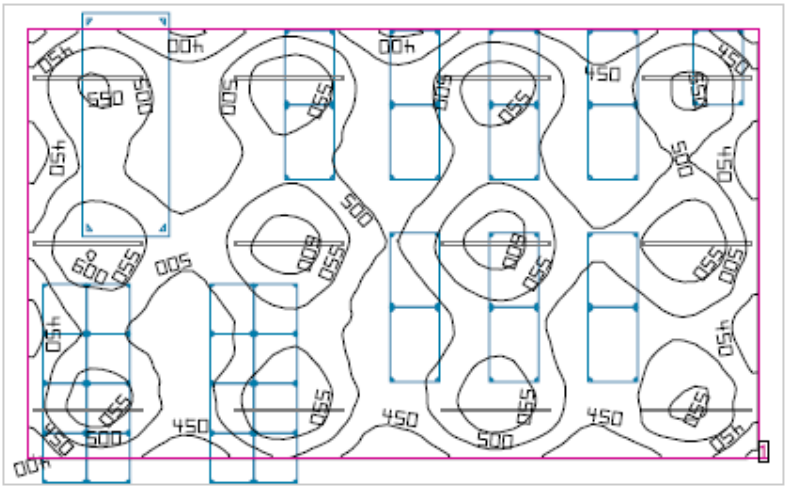


Figura 9.13: Curvas isográficas do espaço tipo sala de projeto tipo 1

9.3.4.11 Sala de Projeto Tipo 2

O sistema atual da sala de projeto tipo 2 é constituído por 15 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W. O nível de iluminação de referência é também de 500 lux. O valor medido foi de 744 lux, bem acima do valor tolerável.

Apresenta-se na tabela 9.29 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.29: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de projeto tipo 2

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
10	43	512	343	627	0,55	5,39

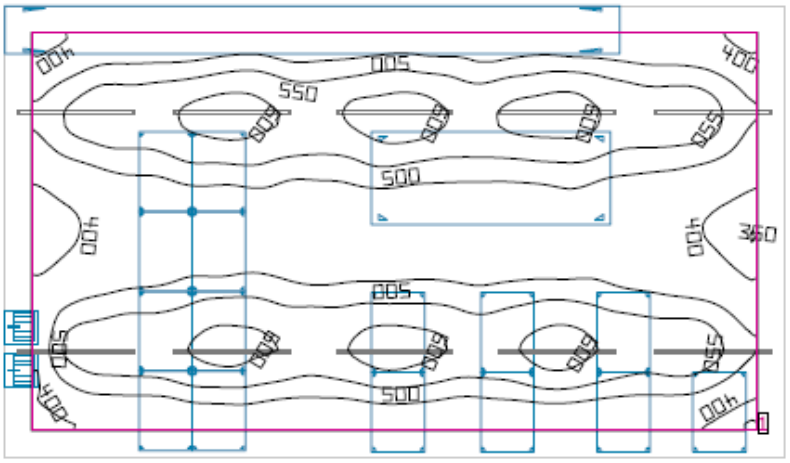


Figura 9.14: Curvas isográficas do espaço tipo sala de projeto tipo 2

A proposta conta com 10 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.12 Sala de Aula Tipo 1

Também para as salas de aula existem espaços distintos com essa função. Assim, primeiramente tem-se o espaço tipo designado por sala de aula tipo 1, cujo sistema de iluminação atual conta com 9 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W. O nível de iluminação medido foi de 532 lux, sendo que para este espaço tipo o valor de referência é de 500 lux.

Apresenta-se na tabela 9.30 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.30: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de aula tipo 1

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
8	43	578	358	716	0,50	6,38

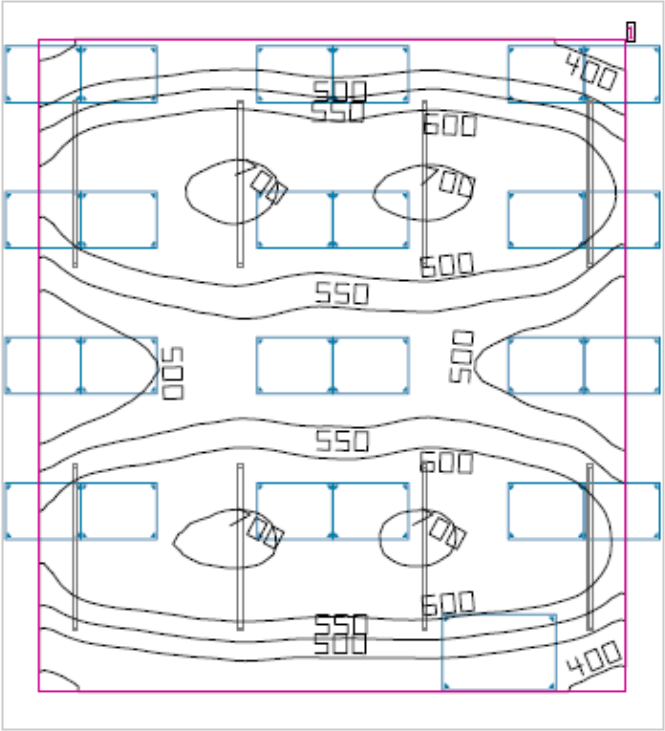


Figura 9.15: Curvas isográficas do espaço tipo sala de aula tipo 1

A proposta conta com 8 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.13 Sala de Aula Tipo 2

Espaço cujo sistema de iluminação é constituído por 9 luminárias de lâmpada fluorescente de 80W, difere do espaço anterior na área e formato, tendo sido medidos 540 lux no local, sendo o valor de referência 500 lux.

Apresenta-se na tabela 9.31 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.31: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de aula tipo 2

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
8	43	504	318	634	0,50	5,56

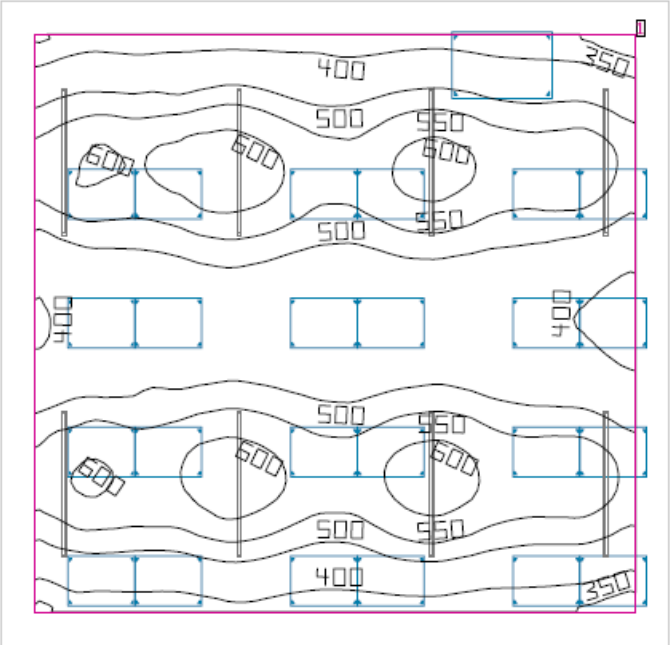


Figura 9.16: Curvas isográficas do espaço tipo sala de aula tipo 2

A proposta conta com 8 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.14 Sala de Desenho com Cavaletes

O nível de iluminação medido no local para este espaço tipo foi de 769 lux, estando bem acima do valor de referência de 500 lux e da sua tolerância. Assim a redução de potência pode ser uma solução viável. O sistema de iluminação atual neste espaço tipo consiste em 21 luminárias de lâmpada fluorescente de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.32 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.32: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de desenho com cavaletes

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
15	43	500	116	671	0,17	4,48

A proposta conta com 15 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

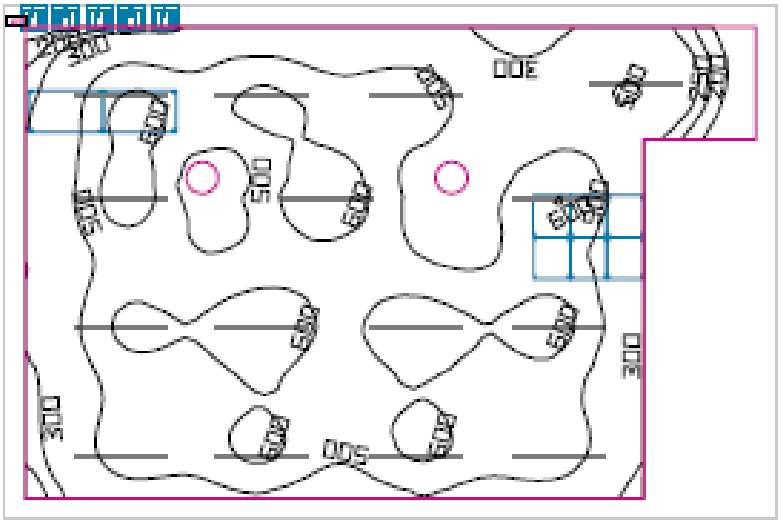


Figura 9.17: Curvas isográficas do espaço tipo sala de desenho com cavaletes

9.3.4.15 Sala de Desenho com Estiradores

Outro espaço com nível de iluminação de referência de 500 lux apresenta, no local, um valor real de 491,5 lux, ligeiramente abaixo do de referência, mas aceitável. Neste caso, o sistema atual conta com 18 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.33 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.33: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de desenho com estiradores

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
10	58	514	337	667	0,51	5,37

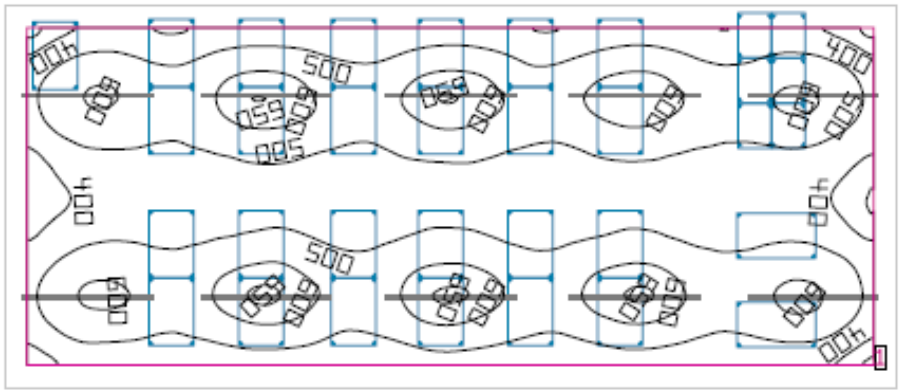


Figura 9.18: Curvas isográficas do espaço tipo sala de desenho com estiradores

A proposta conta com 10 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 58W (referência 42198) com *Tc* de 4000 K e *Ra* de 80. O fluxo luminoso é de 7520 lm e o rendimento luminoso de 129,7 lm/W.

9.3.4.16 Sala de Geometria

Espaço tipo com nível de iluminação de referência de 500 lux apresenta, no local, um valor real de 531 lux. Neste caso, o sistema atual conta com 15 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.34 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.34: Parâmetros obtidos no DIALux para a sala de geometria

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
10	58	521	319	643	0,50	5,39

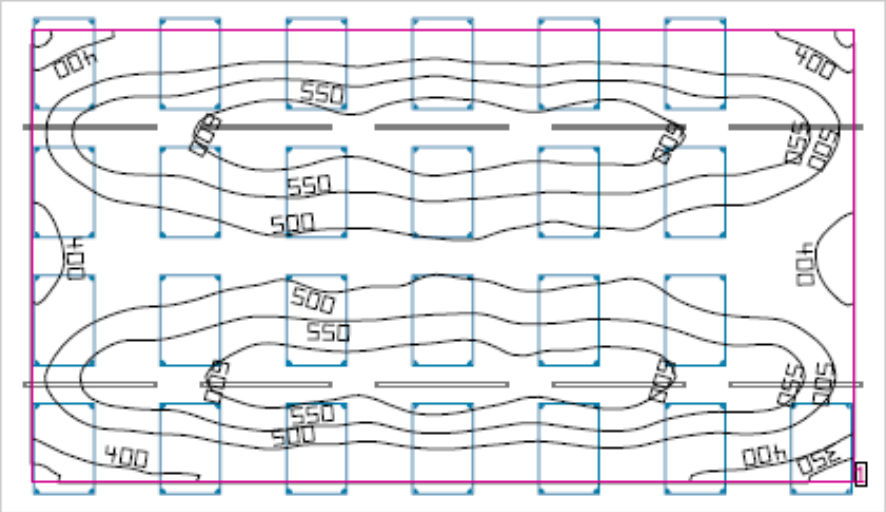


Figura 9.19: Curvas isográficas do espaço tipo sala de geometria

A proposta conta com 10 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.17 Oficina Tipo 1

Tal como para as salas de aula e de projeto, as oficinas foram divididas em espaços tipo distintos consoante as suas características. Assim sendo, o primeiro é a oficina tipo 1, espaço cujo nível de iluminação de referência é de 500 lux apresentando, no local, um valor real acima do aceitável, de 755 lux. Neste caso, o sistema atual conta com 20 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.35 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.35: Parâmetros obtidos no DIALux para oficina tipo 1

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
19	43	522	442,68	868	0,65	3,85

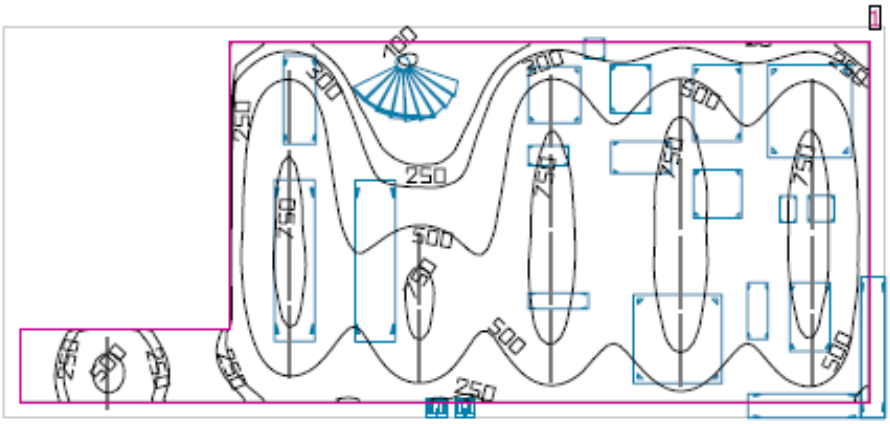


Figura 9.20: Curvas isográficas do espaço tipo oficina tipo 1

A proposta conta com 19 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* suspensa de 43W, já referida acima.

9.3.4.18 Oficina Tipo 2

A oficina tipo 2 tem também como referência 500 lux, apresentando, no local, um valor real de 743 lux, bastante acima dos 500 lux de referência. Neste caso, o sistema atual conta com 16 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.36 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.36: Parâmetros obtidos no DIALux para oficina tipo 2

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
15	43	505	271	768	0,35	4,98

A proposta conta com 15 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* suspensa de 43W.

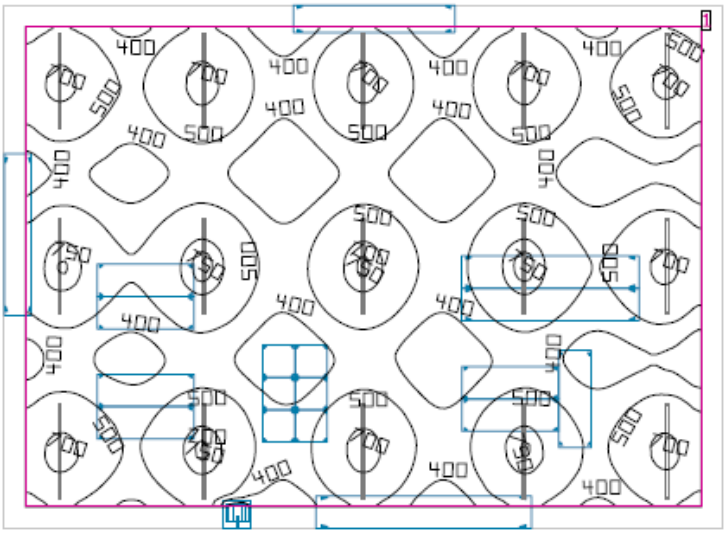


Figura 9.21: Curvas isográficas do espaço tipo oficina tipo 2

9.3.4.19 Laboratórios

Espaço tipo com nível de iluminação de referência de 500 lux apresenta, no local, um valor real de 556 lux. Neste caso, o sistema atual conta com 15 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.37 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.37: Parâmetros obtidos no DIALux para os laboratórios

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
10	43	501	319	613	0,52	5,39

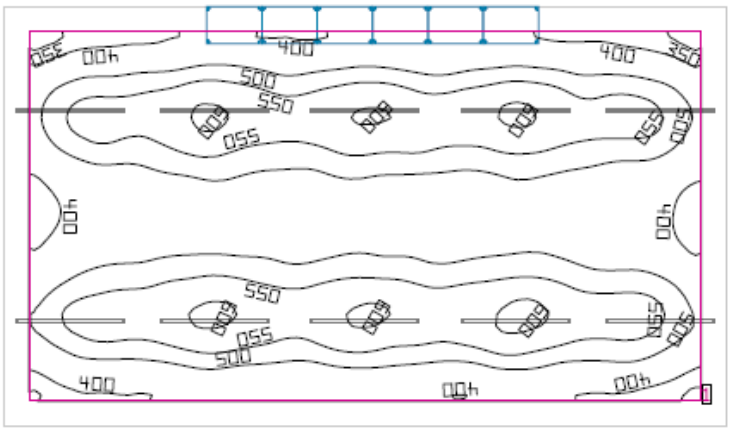


Figura 9.22: curvas isográficas do espaço tipo laboratórios

A proposta conta com 10 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.20 Laboratório de Informática

Espaço tipo com nível de iluminação de referência de 300 lux apresenta, no local, um valor real de 202,75 lux. Este valor encontra-se abaixo da tolerância mínima para as necessidades de iluminação deste tipo de espaço. Neste caso, o sistema atual conta com 6 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.38 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.38: Parâmetros obtidos no DIALux para o laboratório de informática

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
4	43	308	170	448	0,38	3,21

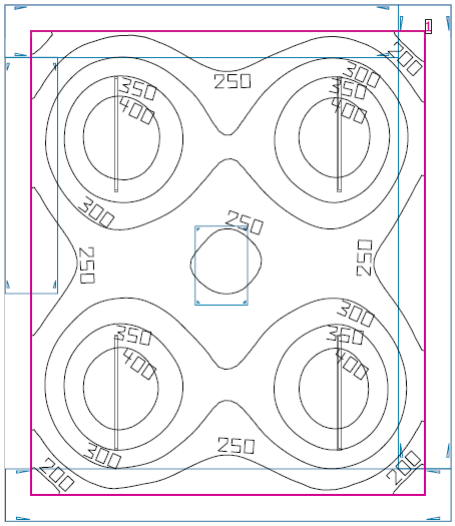


Figura 9.23: Curvas isográficas do espaço tipo laboratório de informática

A proposta conta com 4 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.21 Gabinetes Administrativos

Espaço tipo com nível de iluminação de referência de 500 lux apresenta, no local, um valor real de 522 lux. Neste caso, o sistema atual conta com 2 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 49W.

Apresenta-se na tabela 9.39 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.39: Parâmetros obtidos no DIALux para os gabinetes administrativos

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
2	43	508	348	619	0,56	7,44

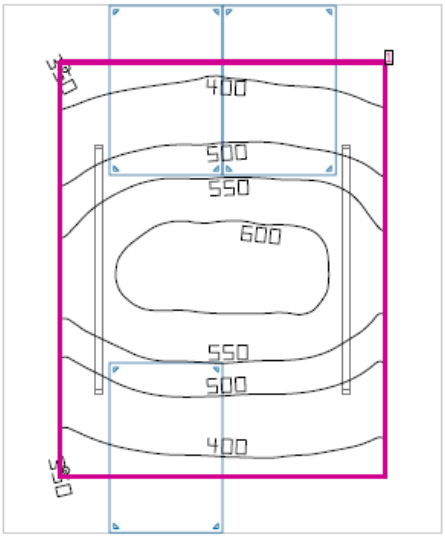


Figura 9.24: Curvas isográficas do espaço tipo gabinetes administrativos

A proposta conta com 2 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.22 Gabinetes de Atividades

Espaço tipo com nível de iluminação de referência de 500 lux apresenta, no local, um valor real de 769 lux. Neste caso, o sistema atual conta com 4 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.40 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.40: Parâmetros obtidos no DIALux para os gabinetes de atividades

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
4	43	545	381	643	0,59	7,03

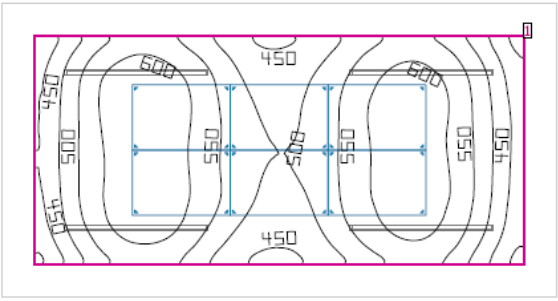


Figura 9.25: Curvas isográficas do espaço tipo gabinetes de atividades

A proposta conta com 4 luminárias da OM, Tubo 50 *Frost* saliente de 43W.

9.3.4.23 Gabinetes Tipo 1

Os gabinetes de apoio, foram também eles divididos em espaços tipo distintos consoante as suas características. Assim sendo o gabinete tipo 1 é um espaço cujo nível de iluminação de referência é de 300 lux apresentando, no local, um valor real de 265,92 lux. Este valor encontra-se abaixo do valor de referência embora se situe acima do valor mínimo de tolerância. Neste caso, o sistema atual conta com 1 luminária de lâmpada fluorescente de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.41 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.41: Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 1

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
1	43	300	381,9	1273	0,3	2,33

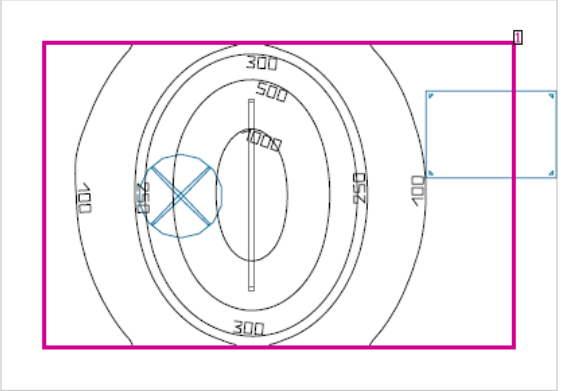


Figura 9.26: Curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 1

A proposta conta com 1 luminária da OM, Tubo 50 Frost suspensa de 43W.

9.3.4.24 Gabinetes Tipo 2

O gabinete tipo 2, também com nível de iluminação de referência de 300 lux, apresenta, no local, um valor real de 280,92 lux. Este valor encontra-se abaixo do valor de referência embora se situe acima do valor mínimo de tolerância. Neste caso, o sistema atual conta com 2 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.42 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.42: Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 2

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
2	43	300	446,95	1277	0,35	2,43

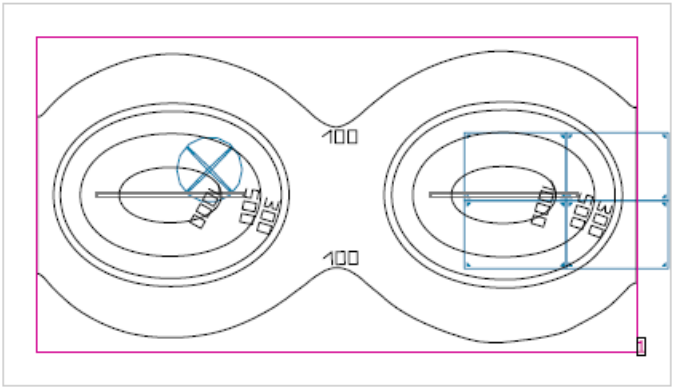


Figura 9.27: Curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 2

A proposta conta com 2 luminária da OM, Tubo 50 *Frost* suspensa de 43W.

9.3.4.25 Gabinetes Tipo 3

O gabinete tipo 3, também com nível de iluminação de referência é de 300 lux, apresenta, no local, um valor real de 285,53 lux. Este valor encontra-se abaixo do valor de referência embora se situe acima do valor mínimo de tolerância. Neste caso, o sistema atual conta com 3 luminárias de lâmpadas fluorescentes de 80W.

Apresenta-se na tabela 9.43 os parâmetros dimensionados para o sistema LED.

Tabela 9.43: Parâmetros obtidos no DIALux para o gabinete tipo 3

Nº luminárias	P_{ind} (W)	Em (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)	Emin/Emax	W/m^2
3	43	300	260	1300	0,2	2,44

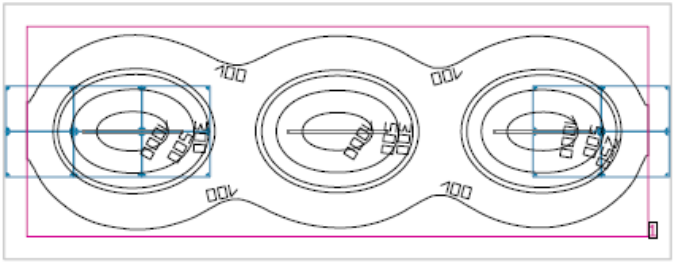


Figura 9.28: curvas isográficas do espaço tipo gabinete tipo 3

A proposta conta com 3 luminária da OM, Tubo 50 *Frost* suspensa de 43W.

9.3.4.26 Redução de Potência com Implementação das Soluções LED

Através da implementação do sistema LED, substituindo as luminárias existentes será possível obter uma redução da potência instalada no local e, por conseguinte, dos consumos. Na tabela 9.44 é possível observar as potências instaladas atual e com a solução LED por espaço tipo individual, bem como, as mesmas potências, mas englobando já todos os espaços da escola. Pode ser também observada a redução de potência por espaço e a redução total obtida. Como se pode observar, é obtida uma redução de 44,645 kW de potência instalada face ao sistema atual.

Tabela 9.44: Redução de Potência com implementação da solução LED

Espaço	Espaços Identicos	P total atual (W)	P total solução (W)	Redução/espaço (W)	Redução (W)
Refeitório	1	640	387	253	253
Ginásio	1	4374	1204	3170	3170
Balneário	2	392	232	80	160
I.S.	12	3360	1260	175	2100
Circulação	12	4116	1032	257	3084
Biblioteca	1	594	387	207	207
Secretaria	1	800	516	284	284
Loja	2	1440	344	548	1096
Sala de Trabalho DT	1	960	344	616	616
Sala Projeto - Tipo 1	7	11200	3612	1084	7588
Sala Projeto - Tipo 2	2	2400	860	770	1540
Sala de aula - Tipo 1	9	6480	3096	376	3384
Sala de aula - Tipo 2	7	5040	2408	376	2632
Sala de Desenho Cavaletes	2	3360	1290	1035	2070
Sala de Desenho Estiradores	4	5760	2320	860	3440
Sala Geometria	4	4800	1720	770	3080
Oficina - Tipo 1	5	8000	4085	783	3915
Oficina - Tipo 2	4	5120	2580	635	2540
Laboratórios	2	2400	860	770	1540
Laboratório de Informática	1	480	172	308	308
Gabinetes Administrativos	7	686	602	12	84
Gabinetes de Atividades	7	2240	1204	148	1036
Gabinete - Tipo 1	2	160	86	37	74
Gabinete - Tipo 2	3	480	258	74	222
Gabinete - Tipo 3	2	480	258	111	222
Totais		75762	31117		44645

9.3.5 Solução 2: Combinada

Na solução 2, como já referido, será estudado uma solução mista de redução de potência das lâmpadas fluorescentes T5 e mudança de luminárias para LED. Para isso definiu-se um critério de decisão sobre que espaços intervencionar, e que estratégia utilizar. Assim, os locais onde o nível de iluminação for consideravelmente superior ao valor de referência são elegíveis para o método de redução de potência. Os espaços tipo onde, nesta solução, será analisada a mudança para LED (solução técnica a utilizar será a mesma que a dimensionada para a solução 1, para o espaço respetivo), são aqueles onde se verifiquem grandes consumos e custos, e longo período de utilização. Assim sendo, alguns dos espaços onde será proposta a tecnologia LED poderão simultaneamente ser elegíveis para redução de potência.

Uma vez que não foi possível a simulação do sistema real de iluminação da EASR, por motivos já referidos, recorreu-se à relação entre lumens e potência para determinar a redução possível, que respeite os níveis de iluminação indicados.

Tabela 9.45: Correspondência entre lumens e potência das lâmpadas

Potência (W)	lm	lm/W
80	4800	60
58	3480	60
54	3240	60
49	2940	60
28	1680	60
24	1440	60
21	1260	60
14	840	60

Atendendo aos valores medidos no local para a iluminância média nos diferentes espaços tipo, propõe-se a redução de potência nas salas descriminadas na tabela 9.46.

Tabela 9.46: Espaços tipo propostos para redução de potência

Espaço Tipo	Em registado (lux)	Em referência (lux)
I.S.	462	200
Sala de Desenho com Cavaletes	769	500
Refeitório	305	200
Gabinete de Atividades	769	500
Sala de Projeto Tipo 2	744	500
Oficina Tipo 1	755	500
Oficina Tipo 2	743	500
Circulação	242	100

Apresenta-se, de seguida, a potência das lâmpadas atual e respetiva proposta de redução, bem como, os níveis de iluminação atingidos.

Tabela 9.47: Proposta de Redução de Potência e níveis de iluminação obtidos

Espaço Tipo	Potência T5 Atual (W)	Potência T5 Proposta (W)	Em obtido (lux)
I.S.	28	14	231
Sala de Desenho com Cavaletes	80	54	519
Refeitório	80	54	206
Gabinete de Atividades	80	54	519
Sala de Projeto Tipo 2	80	54	502
Oficina Tipo 1	80	54	510
Oficina Tipo 2	80	54	502
Circulação	49	21	104

Para alteração para LED propõem-se os espaços tipo da tabela 9.48 O Projeto LED a utilizar é o mesmo que foi dimensionado para a solução 1 para estes espaços.

Tabela 9.48: Espaços tipo propostos para alteração para LED

Espaço Tipo	Consumo Atual (kWh)	Custo Atual (€)
Ginásio	8870,5	500,67
Sala de Desenho com Estiradores	2920,3	164,83
Sala de Projeto Tipo 1	3244,8	183,14
Loja	2185,9	123,38

9.3.6 Solução 3: Redução de Potência

Na solução 3, será apenas utilizado o método de redução de potência das lâmpadas fluorescentes instaladas. Os espaços a intervencionar são os mesmos aos quais se aplicou redução de potência na solução 2 (Tabela 9.46).

9.3.7 Análise Económica

De modo a avaliar se o investimento inerente a qualquer alteração no sistema de iluminação atual é viável, importa realizar uma análise económica. Deve ser determinado o tempo de retorno das propostas de alteração de modo a analisar a sua viabilidade.

Para determinar o tempo de retorno é necessário calcular diferentes parâmetros:

- A potência total a considerar é determinada pela potência de cada lâmpada e pelo número de lâmpadas instaladas:

$$Potencia\ _{Total}\,(kWh) = \frac{Potencia\ _{lampada\ individual}\,(W) \times nr\ de\ lampadas}{1000} \tag{9.3}$$

- O consumo anual é calculado multiplicando a potência total instalada pelo número de horas em que a instalação se encontra em utilização no espaço de um ano:

$$Consumo_{anual}\ (kWh)\ =\ Potencia\ _{Total}\,(kWh)\ \times nr\ de\ horas/ano \tag{9.4}$$

- Tendo o valor do consumo anual, é possível determinar o custo anual, bastando multiplicar o preço de energia por kWh pelo consumo anual obtido:

$$Custo_{anual}\ (euros) = Consumo_{anual}\ (kWh) \times Preco\ (euros/kWh) \tag{9.5}$$

- Outro parâmetro a determinar é a poupança anual, obtida subtraindo o custo anual da solução proposta ao custo anual do sistema atual:

$$Poupanca_{anual}\ (euros)\ =\ Custo_{anual\ atual}(euros) - Custo\ anual_{Nova\ Solucao}(euros) \tag{9.6}$$

- O investimento é determinado multiplicando o preço unitário de cada luminária (ao qual se soma o custo de instalação) pelo número de luminárias constantes na proposta.

$$Investimento\ (euros) = nr_{luminarias\ proposta} \times (Custo_{instalacao} + Custo_{aquisicao}) \tag{9.7}$$

Com os parâmetros acima descritos determinados é, então, possível calcular o tempo de retorno, em anos. Este é obtido dividindo o investimento pela poupança anual.

$$Retorno\ (anos) = \frac{Investimento\ (euros)}{Poupanca\ anual\ (euros)} \tag{9.8}$$

Proceder-se-á à análise económica de todas as soluções apresentadas, de modo a avaliar a sua viabilidade.

9.3.7.1 Análise Económica da Solução 1

Realiza-se então, em primeiro lugar, a análise económica da primeira solução, que consiste na mudança total do sistema para luminárias LED. Alguns dos valores que serão determinados poderão ser necessários, também na análise da segunda solução.

Para determinar o número de horas por ano em que cada espaço tem o seu sistema de iluminação em utilização, atendeu-se ao tipo de utilização a que estão sujeitos, ao horário letivo e ao número de dias úteis (retirando fins de semana, férias e feriados consoante o espaço tipo em questão). Considerou-se um período diário de utilização das instalações da escola de 12h (das 08h00 às 20h00). Assim obtiveram-se os valores apresentados na tabela 9.49.

Tabela 9.49: Número de horas de utilização de cada espaço tipo

Espaço	horas/ano	Espaço	horas/ano
Refeitório	3036	Sala de Desenho Cavaletes	2028
Ginásio	2028	Sala de Desenho Estiradores	2028
Balneário	2028	Sala Geometria	2028
I.S.	3036	Oficina - Tipo 1	2028
Circulação	3036	Oficina - Tipo 2	2028
Biblioteca	2028	Laboratórios	2028
Secretaria	2760	Laboratório de Informática	2028
Loja/Papelaria	3036	Gabinetes Administrativos	3036
Sala de Trabalho DT	2028	Gabinetes de Atividades	2028
Sala Projeto - Tipo 1	2028	Gabinete - Tipo 1	2028
Sala Projeto - Tipo 2	2028	Gabinete - Tipo 2	2028
Sala de aula - Tipo 1	2028	Gabinete - Tipo 3	2028
Sala de aula - Tipo 2	2028		

Determina-se de seguida o consumo anual e o custo anual. O preço de energia é determinado de forma ponderada, tendo em conta o número de horas de cada período horário incluídas nas horas consideradas de utilização. Os valores unitários dos preços de energia a ser aplicados são

os respeitantes à tarifa otimizada que foi escolhida na secção 9.2 (da comercializadora Energia Simples). Assim sendo, constatando que, das 08h00 às 20h00, apensas se tem horas de ponta (3h das 12h totais) e de cheia (9h das 12h totais), tem-se o seguinte preço ponderado:

$$preco\ ponderado\ (euros/kWh) = \frac{0,056945 \times 3 + 0,056275 \times 9}{12} = 0,0564425 \tag{9.9}$$

Os valores determinados para estes parâmetros em cada espaço tipo são apresentados nas tabelas 9.50 e 9.51, para o sistema atual e o sistema após implementação do sistema LED, respetivamente.

Tabela 9.50: Consumo e Custo Anual de cada espaço para o sistema atual de iluminação - Solução 1

Espaço	Potência Total Atual (kWh)	Consumo Anual Atual (kWh)	Custo Anual Atual
Refeitório	0,64	1943,04	109,67 €
Ginásio	4,374	8870,47	500,67 €
Balneário	0,196	397,49	22,44 €
I.S.	0,28	850,08	47,98 €
Circulação	0,343	1041,35	58,78 €
Biblioteca	0,594	1204,63	67,99 €
Secretaria	0,8	2208,00	124,63 €
Loja/Papelaria	0,72	2185,92	123,38 €
Sala de Trabalho DT	0,96	1946,88	109,89 €
Sala Projeto - Tipo 1	1,6	3244,80	183,14 €
Sala Projeto - Tipo 2	1,2	2433,60	137,36 €
Sala de aula - Tipo 1	0,72	1460,16	82,42 €
Sala de aula - Tipo 2	0,72	1460,16	82,42 €
Sala de Desenho Cavaletes	1,68	3407,04	192,30 €
Sala de Desenho Estiradores	1,44	2920,32	164,83 €
Sala Geometria	1,2	2433,60	137,36 €
Oficina - Tipo 1	1,6	3244,80	183,14 €
Oficina - Tipo 2	1,28	2595,84	146,52 €
Laboratórios	1,2	2433,60	137,36 €
Laboratório de Informática	0,48	973,44	54,94 €
Gabinetes Administrativos	0,098	297,53	16,79 €
Gabinetes de Atividades	0,32	648,96	36,63 €
Gabinete - Tipo 1	0,08	162,24	9,16 €
Gabinete - Tipo 2	0,16	324,48	18,31 €
Gabinete - Tipo 3	0,24	486,72	27,47 €

Tabela 9.51: Consumo e Custo Anual de cada espaço - Solução 1

Espaço	Potência Total Solução (kWh)	Consumo Anual Solução(kWh)	Custo Anual Solução
Refeitório	0,387	1174,93	66,32 €
Ginásio	1,204	2441,71	137,82 €
Balneário	0,116	235,25	13,28 €
I.S.	0,105	318,78	17,99 €
Circulação	0,086	261,10	14,74 €
Biblioteca	0,387	784,84	44,30 €
Secretaria	0,516	1424,16	80,38 €
Loja/Papelaria	0,172	522,19	29,47 €
Sala de Trabalho DT	0,344	697,63	39,38 €
Sala Projeto - Tipo 1	0,516	1046,45	59,06 €
Sala Projeto - Tipo 2	0,43	872,04	49,22 €
Sala de aula - Tipo 1	0,344	697,63	39,38 €
Sala de aula - Tipo 2	0,344	697,63	39,38 €
Sala de Desenho Cavaletes	0,645	1308,06	73,83 €
Sala de Desenho Estiradores	0,58	1176,24	66,39 €
Sala Geometria	0,43	872,04	49,22 €
Oficina - Tipo 1	0,817	1656,88	93,52 €
Oficina - Tipo 2	0,645	1308,06	73,83 €
Laboratórios	0,43	872,04	49,22 €
Laboratório de Informática	0,172	348,82	19,69 €
Gabinetes Administrativos	0,086	261,10	14,74 €
Gabinetes de Atividades	0,172	348,82	19,69 €
Gabinete - Tipo 1	0,043	87,20	4,92 €
Gabinete - Tipo 2	0,086	174,41	9,84 €
Gabinete - Tipo 3	0,129	261,61	14,77 €

Como já referido para determinar o investimento é necessário conhecer o custo de aquisição das luminárias e o custo de instalação das mesmas. Os custos de aquisição (IVA já incluído) dos diferentes modelos utilizados nos diversos espaços em estudo estão presentes na tabela 9.52. As Fichas Técnicas das luminarias poderão ser consultadas no Anexo C.

Tabela 9.52: Custo de aquisição das luminárias LED

Marca	Modelo	Potência (W)	Preço (€)
OM	Tubo 50 Frost Surface-mounted	43	251,904
OM	Tubo 50 Frost Surface-mounted	58	333,945
OM	Tubo 50 Frost Pendant	43	280,317
OM	U60 Recessed	58	485,973
EEE	TPHLN	35	257,193

Para determinar os custos de instalação considerou-se o preço da mão de obra a 8 € por hora e a duração de instalação de uma luminária como sendo de 10 minutos. Assim, o custo variará consoante o número de luminárias em cada espaço sendo facilmente determinado.

Uma vez determinados o investimento e a poupança anual é possível, para cada espaço tipo, conhecer o tempo de retorno do investimento na solução LED proposta. Estes dados podem ser visualizados na tabela 9.53.

Tabela 9.53: Poupança Anual, Investimento e Retorno para cada espaço tipo – Solução 1

Espaço	Poupança Anual (€)	Investimento (€)	Retorno (anos)
Refeitório	43,35	2279,14	52,57
Ginásio	362,86	7090,65	19,54
Balneário	9,16	974,61	106,43
I.S.	29,99	775,58	25,86
Circulação	44,04	563,30	12,79
Biblioteca	23,69	2279,14	96,19
Secretaria	44,24	3038,85	68,69
Loja/Papelaria	93,90	1012,95	10,79
Sala de Trabalho DT	70,51	2025,90	28,73
Sala Projeto - Tipo 1	124,08	3038,85	24,49
Sala Projeto - Tipo 2	88,14	2532,37	28,73
Sala de aula - Tipo 1	43,04	2025,90	47,07
Sala de aula - Tipo 2	43,04	2025,90	47,07
Sala de Desenho Cavaletes	118,47	3798,56	32,06
Sala de Desenho Estiradores	98,44	3352,78	34,06
Sala Geometria	88,14	2532,37	28,73
Oficina - Tipo 1	89,63	5351,36	59,71
Oficina - Tipo 2	72,69	4224,76	58,12
Laboratórios	88,14	2532,37	28,73
Laboratório de Informática	35,26	1012,95	28,73
Gabinetes Administrativos	2,06	506,47	246,30
Gabinetes de Atividades	16,94	1012,95	59,79
Gabinete - Tipo 1	4,24	281,65	66,50
Gabinete - Tipo 2	8,47	563,30	66,50
Gabinete - Tipo 3	12,71	844,95	66,50

Pode ser também determinado o retorno do investimento global no sistema de iluminação LED. Na tabela 9.54 é visível o resultado dessa análise.

Tabela 9.54: Análise economica global da solução 1

Análise Económica Global	
Consumo Anual Atual(kWh)	164554,87
Consumo Anual Solução (kWh)	67136,99
Custo Anual Atual	9 287,89 €
Custo Anual Solução	3 789,38 €
Poupança anual	5 498,51 €
Investimento	190 956,72 €
Retorno (anos)	34,73

Como se pode concluir, a mudança para luminárias LED permite reduzir grandemente a potência, diminuindo consideravelmente o consumo anual. A poupança anual é por isso elevada. No entanto, o investimento que é necessário realizar, nomeadamente, o avultado custo de aquisição das luminárias conduz a um tempo de retorno alargado. Tendo isso em conta, constata-se que a solução 1 (solução LED) não é viável.

9.3.7.2 Análise Económica da Solução 2

Neste ponto, analisar-se-á o retorno da solução combinada de redução de potência e alteração de luminárias para LED.

Procede-se do mesmo modo da análise económica da solução 1, determinando-se as potências totais e custos anuais (atual e da solução), de modo a concluir o valor da poupança anual. O preço aplicado é o preço ponderado determinado através da expressão 9.9. Para o cálculo do investimento, considerou-se que o preço de cada lâmpada fluorescente T5, adquirida para substituição, é de 2 €, e para os espaços com substituição de luminárias LED, consideraram-se os preços patentes na tabela 9.52.

Importa referir que a poupança calculada nesta análise será a poupança total relativa ao sistema de iluminação, uma vez que os espaço tipo não referidos nesta solução permanecerão com o sistema atual.

Assim, apresentam-se os valores relativos ao sistema atual (tabela 9.55) e à solução 2 (tabela 9.56)

Tabela 9.55: Consumo e Custo Anual Atuais de cada espaço – Solução 2

Espaço	Potência Total Atual (kWh)	Consumo Anual Atual (kWh)	Custo Anual Atual
I.S.	0,28	850,08	47,98 €
Sala de Desenho Cavaletes	1,68	3407,04	192,30 €
Refeitório	0,64	1943,04	109,67 €
Gabinetes de Atividades	0,32	648,96	36,63 €
Sala Projeto - Tipo 2	1,2	2433,60	137,36 €
Oficina - Tipo 1	1,6	3244,80	183,14 €
Oficina - Tipo 2	1,28	2595,84	146,52 €
Circulação	0,343	1041,35	58,78 €
Ginásio	4,374	8870,47	500,67 €
Sala de Desenho Estiradores	1,44	2920,32	164,83 €
Sala Projeto - Tipo 1	1,6	3244,80	183,14 €
Loja/Papelaria	0,72	2185,92	123,38 €

Tabela 9.56: Consumo e Custo Anual da Solução de cada espaço – Solução 2

Espaço	Potência Total Solução (kWh)	Consumo Anual Solução(kWh)	Custo Anual Solução
I.S.	0,14	425,04	23,99 €
Sala de Desenho Cavaletes	1,134	2299,75	129,80 €
Refeitório	0,432	1311,55	74,03 €
Gabinetes de Atividades	0,216	438,05	24,72 €
Sala Projeto - Tipo 2	0,81	1642,68	92,72 €
Oficina - Tipo 1	1,08	2190,24	123,62 €
Oficina - Tipo 2	0,864	1752,19	98,90 €
Circulação	0,147	446,29	25,19 €
Ginásio	1,204	2441,71	137,82 €
Sala de Desenho Estiradores	0,58	1176,24	66,39 €
Sala Projeto - Tipo 1	0,516	1046,45	59,06 €
Loja/Papelaria	0,172	522,19	29,47 €

Observando a tabela 9.57, constata-se que a generalidade dos espaços em que se propõe redução de potência, apresentam um tempo de retorno de cerca de 1 ano. As soluções LED, como já referido, são mais dispendiosas e apresentam período de retorno mais alargado.

Tabela 9.57: Poupança Anual, Investimento e Retorno para cada espaço tipo – Solução 2

Espaço	Poupança Anual (€)	Investimento (€)	Retorno (anos)
I.S.	23,99	24,00	1,00
Sala de Desenho Cavaletes	62,50	62,00	0,99
Refeitório	35,64	28,00	0,79
Gabinetes de Atividades	11,90	13,33	1,12
Sala Projeto - Tipo 2	44,64	43,33	0,97
Oficina - Tipo 1	59,52	65,33	1,10
Oficina - Tipo 2	47,62	52,00	1,09
Circulação	33,59	16,67	0,50
Ginásio	362,86	5771,73	15,91
Sala de Desenho Estiradores	98,44	2728,33	27,72
Sala Projeto - Tipo 1	124,08	2473,60	19,94
Loja/Papelaria	93,90	824,53	8,78

Determina-se agora o retorno global da solução 2, cujo valor se situa em cerca de 11 anos e 4 meses.

Tabela 9.58: Análise economica global da solução 2

Análise Económica Global	
Consumo Anual Atual(kWh)	115108,73
Consumo Anual Solução (kWh)	57180,50
Custo Anual Atual	6.497,02 €
Custo Anual Solução	3.227,41 €
Poupança anual	3.269,61 €
Investimento	37.004,00 €
Retorno (anos)	11,32

No computo geral, a solução 2, permite uma poupança anual de 3.269,61 €

9.3.7.3 Análise Económica da Solução 3

O período de retorno para cada espaço tipo incluído nesta solução foi já determinado e apresentado na tabela 9.57, tratando-se dos espaços em que se reduz a potência das lâmpadas T5 (tabela 9.46), visto a solução 3 se tratar de aplicar apenas o método de redução de potência. Assim, será apresentado apenas o período de retorno do investimento global com a aplicação da solução.

Tabela 9.59: Análise economica global da solução 3

Análise Económica Global	
Consumo Anual Atual(kWh)	67471,54
Consumo Anual Solução (kWh)	41664,31
Custo Anual Atual	3.808,26 €
Custo Anual Solução	2.351,64 €
Poupança anual	1.456,62 €
Investimento	1.354,67 €
Retorno (anos)	0,93

Esta solução permite uma poupança anual de 1.456,62 € com um retorno de pouco menos de 1 ano. Assim sendo, torna-se viável.

9.3.7.4 Comparação de Soluções de Iluminação

Apesar das considerações já tecidas sobre cada uma das soluções e sua viabilidade económica, realizou-se uma comparação entre elas, considerando o investimento global, de modo a perceber qual será a mais vantajosa.

Tabela 9.60: Comparação entre as diferentes soluções de iluminação

Solução	Redução do Consumo (kWh)	Investimento (€)	Poupança anual (€)	Retorno (anos)
Solução 1	97417,88	190.956,72 €	5.498,51 €	34,73
Solução 2	57928,22	37.004,00	3.269,61 €	11,32
Solução 3	25807,22	1.354,67	1.456,62 €	0,93

Analisando a tabela, facilmente se percebe que a solução 1 presenta maior redução de consumos e maiores poupanças anuais que as restantes. Porém, o seu investimento é muito superior pelo que o seu período de retorno é o mais alargado entre as 3 soluções, tanto que torna a solução inviável. A solução 2, apesar de apresentar boas poupanças e reduções consideráveis de consumo, possui um tempo de retorno ainda pouco viável.

A solução 3, sendo a que apresenta menores valores de poupança e de redução de consumo, apresenta também um investimento reduzido, gerando retorno ao fim de cerca de um ano.

Conclui-se, assim, que a solução de apenas redução de potência das lâmpadas fluorescentes T5 é a mais vantajosa, pelo que se propõe a sua aplicação.

9.3.8 Estudo de Implementação de Sistemas de Gestão por Deteção Automática

Sistemas deste tipo são úteis em situações onde a circulação ou presença de pessoas é inconstante ou escassa. É útil também onde a instalação de interruptores manuais não seja a solução mais indicada.

Atualmente, na EASR apenas são utilizados equipamentos de deteção automática nas I.S. Torna-se, assim, relevante a análise da viabilidade de implementação destes sistemas nos restantes espaços tipo.

Analisando os diferentes espaços da escola quanto ao seu tipo e perfil de utilização, facilmente se percebe que não se justifica a instalação destes sistemas nas zonas técnicas, uma vez que apenas os técnicos responsáveis as utilizam, sendo que o tempo de retorno é alargado devido à escassa utilização do sistema no espaço. A utilização de sensores de luminosidade neste tipo de espaço na EASR também não é viável pois a inexistência de janelas obriga à utilização da iluminação artificial.

Em todos os espaços tipo que se destinam a atividades letivas, em que existam janelas, seria possível a instalação de sensores de luminosidade. No entanto, para isso os circuitos de iluminação teriam de ser divididos paralelamente às janelas para permitir o desligamento das fileiras mais próximas quando a iluminação natural colmatasse as necessidades de iluminação do espaço. Na escola, os circuitos de iluminação encontram-se divididos, mas não paralelamente às janelas, o que retiraria eficácia ao sensor a instalar. Assim sendo, o estudo de implementação deste equipamento implicaria um estudo para cada espaço tipo, com alteração de circuitos de iluminação. Tal não será abordado no presente trabalho.

Em espaços como Refeitório e a Biblioteca, o sistema de iluminação encontra-se ligado em permanência durante o período de utilização sendo o sistema desligado manualmente, pelo que não se justifica a instalação de qualquer sensor de deteção automática. O mesmo acontece para espaços com fim destinado a postos de trabalho de docente e pessoal.

Nos corredores de circulação a implementação seria vantajosa, visto ser uma zona de presença e circulação descontinua de pessoas e, com base nas medições de iluminância realizadas no local, se verificar um nível de iluminância média acima do valor de referência. Em grande parte deles, a iluminação natural poderá assegurar os níveis exigidos ou parte deles.

Assim sendo, é proposta a utilização de um sensor de luminosidade que permite também o funcionamento como detetor de presença, desligando, automaticamente, os circuitos de iluminação. Propõe-se a utilização do detetor CIRCUMAT PRO CR, da marca Orbis. Este equipamento, quando instalado a 3,5 metros de altura possui um alcance a rondar os 30 metros de diâmetro. A montagem é facilitada pela possibilidade de ser realizada à superfície através de base de encaixe.

Importa realizar a análise económica à implementação destes equipamentos. O seu preço unitário é de 73 €, sendo que se deseja instalar uma unidade em 12 espaços de circulação. Isto conduz a um investimento de 876 €. Analisar-se-á a viabilidade da implementação destes equipamentos para dois cenários: instalação dos sensores sem aplicar a redução de potência proposta, e instalação dos mesmos juntamente com a redução de potência.

Tabela 9.61: Análise económica da implementação de sensores CIRCUMAT PRO CR sem redução de potência

Análise Económica – Apenas Sensores	
Investimento	876,00 €
Consumo atual (kWh)	12.496,18
Consumo Novo (kWh)	4.998,47
Poupança anual	423,19 €
Retorno (anos)	2,07

Observa-se que o tempo de retorno para este investimento, sem aplicação da solução 3, ronda os 2 anos.

Tabela 9.62: Análise económica da implementação de sensores CIRCUMAT PRO CR com redução de potência

Análise Económica – Sensores e Redução	
Investimento	892,00 €
Consumo atual (kWh)	12.496,18
Consumo Novo (kWh)	2.142,20
Poupança anual	584,40 €
Retorno (anos)	1,53

A aplicação dos sensores em conjunto com a redução de potência possui um tempo de retorno de sensivelmente 1 ano e meio.

Assim, a instalação destes sensores é viável em qualquer dos dois cenários, tendo um retorno de investimento mais rápido se aplicado sobre a redução de potência das lâmpadas T5.

9.4 Sistema Fotovoltaico

Atualmente a EASR conta com um sistema FV instalado, com um total de 96 painéis, perfazendo um total de 24kW. Nesta secção será realizado o estudo de duas soluções de sistemas FV, de modo a perceber se a instalação atual é a mais rentável ou será possível otimizar o sistema.

As duas soluções em estudo serão:

- Unidade de Produção em Autoconsumo (UPAC): produção de energia elétrica para consumo próprio da instalação, sendo o excedente injetado na rede;
- Unidade de Pequena Produção (UPP): toda a energia produzida é vendida à rede;

Os regulamento e regras para a instalação de ambas as soluções constam do DL nº 153/2014 de 20 de Outubro. [74]

9.4.1 Localização e Avaliação do Recurso Solar

A escola localiza-se nas coordenadas 41,1586°N, 8,5949°W. A área da escola selecionada para a instalação do sistema foi a cobertura do Bloco B (figura 9.29), visto ser o espaço mais amplo disponível, contabilizando 1750 m^2 de área plana. Este local possui já um sistema solar térmico instalado, pelo que o espaço ocupado por este será tido em conta do dimensionamento do sistema FV.



Figura 9.29: Imagem do local de instalação e da EASR

É fundamental avaliar a viabilidade de uma instalação deste tipo, sendo necessário realizar o estudo e caraterização do recurso solar no local. Nesse sentido recorreu-se ao software *PVGIS* (*Photovoltaic Geographical information System*), que recorre dados meteorológicos recolhidos para cada local.

Através do programa é possível determinar a inclinação ótima dos painéis (35°) e o desvio relativo ao azimute (-2°). Uma vez que não serão instalados sistemas de seguimento, devido aos seus custos de instalação e manutenção elevados, importa instalar os painéis com a inclinação fixa que permita maior rendimento. Na figura 9.30 é apresentada a variação do ângulo ótimo mensal, resultando na inclinação ótima já referida.

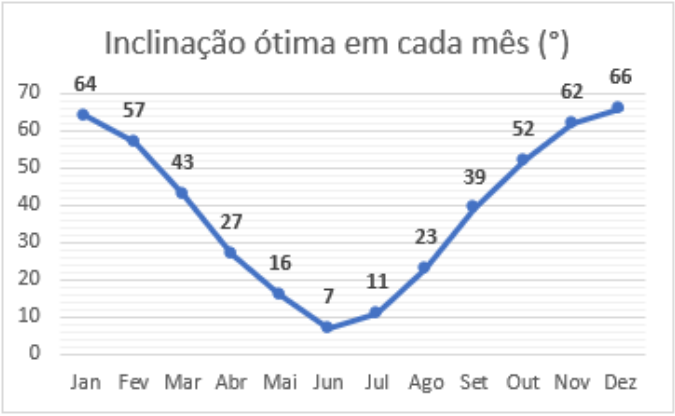


Figura 9.30: Inclinação ótima mensal dos painéis

A ferramenta *PVGIS* permite ainda obter os dados relativos à estimativa mensal ou diária da irradiação e das temperaturas (afetam rendimento dos painéis) (figura 9.31).

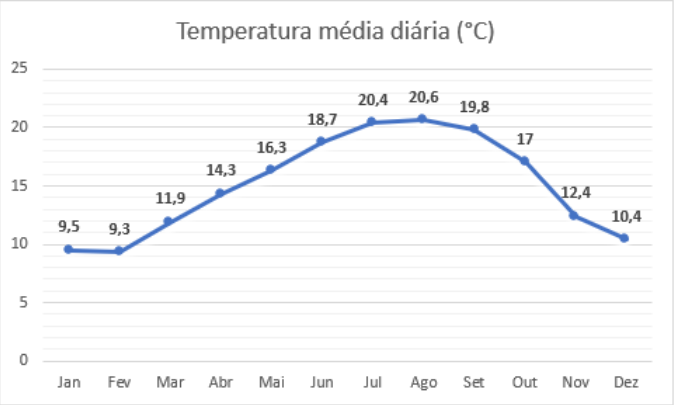


Figura 9.31: Temperatura média diária, por mês

No gráfico da figura 9.32 são apresentados os dados mensais relativos à irradiação no plano horizontal (0°) e no plano de inclinação ótima (35°), onde é possível comparar ambos os valores e estudar o impacto da variação da inclinação.

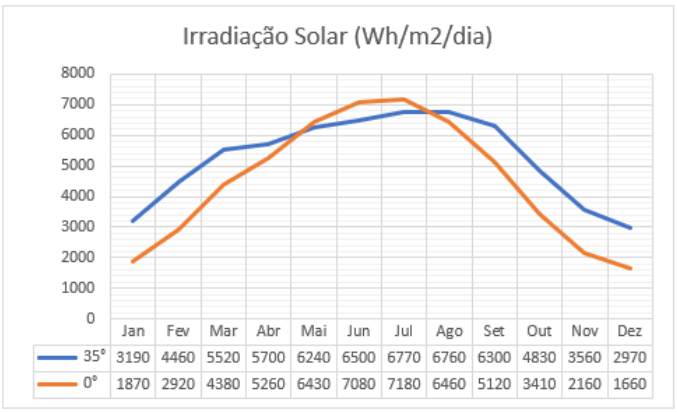


Figura 9.32: Irradiação Solar (0° vs 35°)

Pode-se verificar, através da análise da figura 9.32, que a irradiação é superior no plano com ângulo ótimo em maior parte dos meses do ano. As exceções são os meses de Maio, Junho e Julho. Isto pode ser explicado pelo aumento do nível de irradiação, decorrente do aumento da declinação solar. A figura 9.33 permite visualizar este mesmo facto, com a representação da altura do sol nos meses de Dezembro (mínima, solstício de Inverno) e Junho (máxima, solístico de Verão).

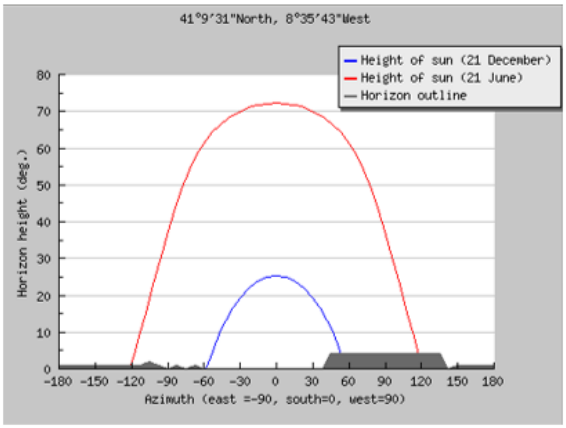


Figura 9.33: Altura máxima e mínima do sol com representação da linha do horizonte

9.4.2 Configuração do Sistema FV

9.4.2.1 Painel Fotovoltaico

A escolha de um dos componentes principais do sistema FV é fundamental para a eficiência do mesmo, bem como para os passos seguintes do dimensionamento.

Propõe-se a utilização do painel MPRIME G Séries GENIUS 4BB, da Martifer Solar, empresa Portuguesa. A potência nominal deste é de 250 Wp, tendo sido escolhido pela garantia de desempenho linear de 25 anos e garantia de produto de 10 anos. A degradação média anual da potência dos módulos FV ronda os 0,56%. Na tabela 9.63 apresentam-se algumas caraterísticas principais do painel que serão utilizadas ao longo do dimensionamento. A ficha técnica pode ser consultada no Anexo D.

Tabela 9.63: Características do Painel MPRIME G Séries GENIUS 4BB

Característica		Valor
Potência nominal (Wp)	P_{NOM}	250
Dimensões (mm)		1640 x 992 x 40
Tolerância de Potência		0/+5W
Corrente em MPP (A)	I_{MPP}	8,32
Tensão MPP (V)	V_{MPP}/U_{MPP}	30,0
Tensão de circuito aberto (V)	V_{CA}/U_{CA}	37,3
Tensão máxima do sistema (V)	V_{SYST}	1000
Coeficiente de Temperatura de Tensão (%/°C)	β (V_{CA})	-0,33

9.4.2.2 Inversores

Os inversores são outro componente a que se deve dar especial atenção no momento da escolha, de modo a realizar convenientemente a transformação de energia fornecida, em corrente DC pelo módulo FV, em corrente AC, de modo a que possa ser utilizada para autoconsumo ou ser

injetada na rede. Para além disso, os inversores permitem o funcionamento do gerador FV no seu ponto de potência máxima.

O Inversores propostos serão da marca SMA, modelo SUNNY TRIPOWER 25000TL, que permite a ligação de um máximo de 25000W. Este é um modelo compatível com o painel FV escolhido anteriormente, contendo a tecnologia de seguimento do MPP necessária para levar o painel a gerar a máxima potência consoante a irradiação. O seu rendimento máximo é de 98,3%. Possui 2 entradas MPP com capacidade para 3 *strings* cada uma.

A ficha técnica deste inversor poderá ser consultada no Anexo D.

9.4.2.3 Tensões nos painéis

As variações de temperatura a que os painéis são sujeitos têm influência sobre o valor das tensões. Calcula-se então as tensões de circuito aberto e do MPP, para as temperaturas mais desfavoráveis. Neste caso temos as temperaturas mínimas e máximas teóricas, de -10°C e 70°C, respetivamente.

Assim, considerando que a temperatura de dimensionamento é de 25°C:

$$V_{CA}\,(-10\ ^{\circ}C) = \left(1 - \frac{\Delta T\ \times\ \beta}{100}\right) \times V_{CA} = \left(1 - \frac{35\ \times -0,33}{100}\right) \times 37,3\ =\ 41,61V \tag{9.10}$$

$$V_{MPP}\,(70\ ^{\circ}C) = \left(1 - \frac{\Delta T\ \times\ \beta}{100}\right) \times V_{MPP} = \left(1 - \frac{45\ \times -0,33}{100}\right) \times 30,0\ =\ 34,46V \tag{9.11}$$

Com as tensões determinadas é possível obter o número máximo e mínimo de painéis que podem ser instalados em série. Para isso realiza-se o seguinte cálculo:

$$N_{maxpaineis} = \frac{Tensao\ maxima\ de\ entrada\ do\ inversor}{V_{CA}(-10\ ^{\circ}C)} = \frac{1000}{41,61} =\ 24,03 \tag{9.12}$$

$$N_{minpaineis} = \frac{Tensao\ MPP\ minima\ do\ inversor}{V_{MPP}(70\ ^{\circ}C)} = \frac{1000}{34,46} =\ 11,32 \tag{9.13}$$

Assim tem-se um número máximo de painéis por *string* de 24 e um número mínimo de 12.

9.4.2.4 Sombreamento

Para colocar os painéis com a inclinação ótima de 35° recorre-se a estruturas metálicas triangulares. Deve, assim, ser determinada a distância mínima entre painéis (distância de sombreamento), de modo a que não ocorra sombreamento (afetando o rendimento).

A distância de sombreamento (d) é determinada com recurso à expressão:

$$d = L \times \frac{\sin(180^{\circ} - \beta - \alpha)}{\sin\beta} \tag{9.14}$$

Onde:

- L: comprimento do lado inclinado do módulo;
- α: inclinação do módulo;
- β: valor mínimo da inclinação solar tolerada.

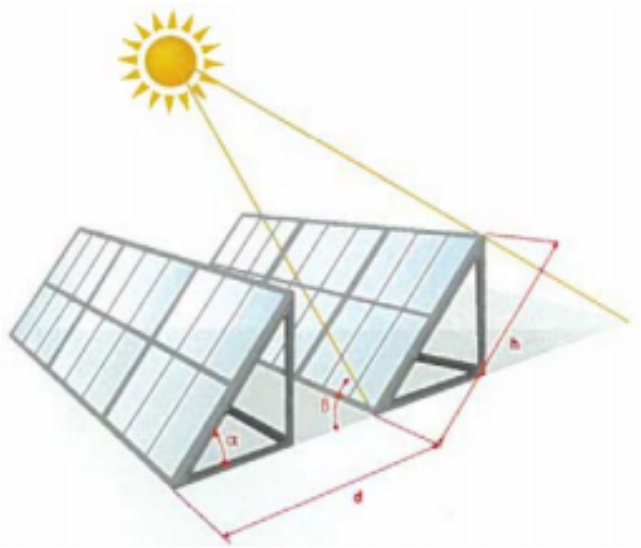


Figura 9.34: Distância de sombreamento

Conforme a disposição dos painéis escolhida, L pode assumir 2 valores distintos: 1,64m (painéis na vertical) e 0,92m (painéis na horizontal).

O valor de β é determinado para dia 21 de Dezembro, solstício de Inverno no hemisfério Norte, às 12h, com recurso à expressão:

$$\sin(\beta) = \sin(latitude) \times \sin(ds) \; + \; \cos(latitude) \times \cos(ds) \times \cos(hs) \tag{9.15}$$

Onde:

- Latitude: latitude de localização da EASR (41,16°);
- declinação solar (-23,43°);
- hs: ângulo horário solar (12 horas).

Assim:

$$\sin(\beta) = \sin(41,16°) \times \sin(-23,43°) \; + \; \cos(41,16°) \times \cos(-23,43°) \times \cos(0°) \tag{9.16}$$

$$\sin(\beta) = 25,41° \tag{9.17}$$

Assim d assume o valor de:

- Painéis na vertical - d = 3,32m
- Painéis na horizontal - d = 2,01m

9.4.2.5 Estrutura do Sistema FV

A configuração do sistema dependerá das características do local de instalação e deverá ser estabelecida tendo em conta as restrições impostas pela legislação em vigor.

Para uma instalação UPAC tem-se que:

- A Potência do Sistema FV deve ser inferior à Potência contratada;
- A produção anual do sistema terá de ser inferior ao consumo anual total na instalação de consumo;

Para uma instalação UPP:

- Potência de ligação menor ou igual a 100% da potência contratada;
- Potência de ligação máxima de 250 kW;
- A energia produzida não pode exceder o dobro da energia consumida na instalação de consumo;
- Quota máxima anual de potência atribuída de 20 MW.

No caso da EASR a potência contratada é de 292,95 kW e o total de energia consumida, como já analisado na secção 9.2 é de 430 438,48 kW

Realizou-se a otimização do número de painéis na área selecionada para instalar o sistema FV, a cobertura do Bloco B. O sistema proposto configura um total de 262 painéis, ascendendo a uma potência de 65,5 kWp.

Neste ponto do projeto recorre-se ao *software* Sunny-Design 3, que permite atingir a configuração ótima para o sistema, em termos de número de inversores, número de *strings* e sua distribuição pelos diferentes canais MPP. Permite, ainda, definir o número de painéis por *string*. Assim, obteve-se o sistema ilustrado na figura 9.35, sendo que se utilizarão 3 inversores, aos quais se ligarão um número equitativo de 4 *strings*. Em dois dos inversores ligar-se-ão 2 *strings* de 22 painéis em cada canal. No terceiro inversor serão ligadas duas *stings* de 22 painéis num canal e 2 *strings* de 21 módulos no restante. Esta configuração pode ser confirmada na figura 9.35.

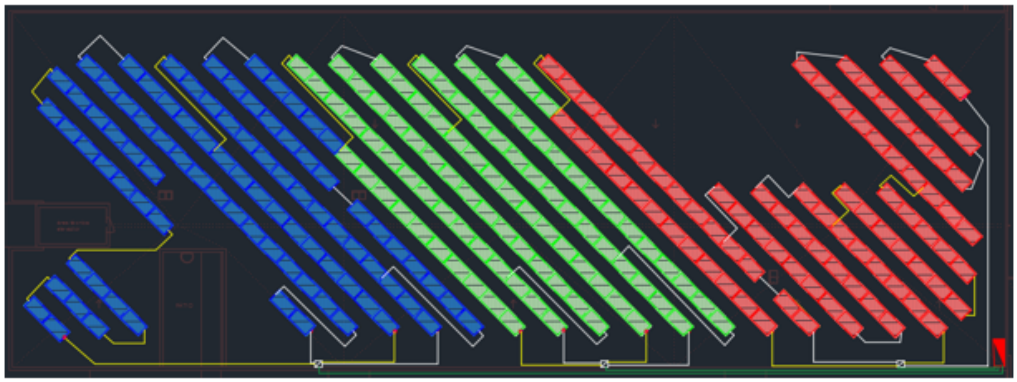


Figura 9.35: Representação do Sistema FV proposto para a EASR

A área livre observável na figura 9.35 diz respeito ao local onde se encontra instalado o sistema solar térmico existente na escola.

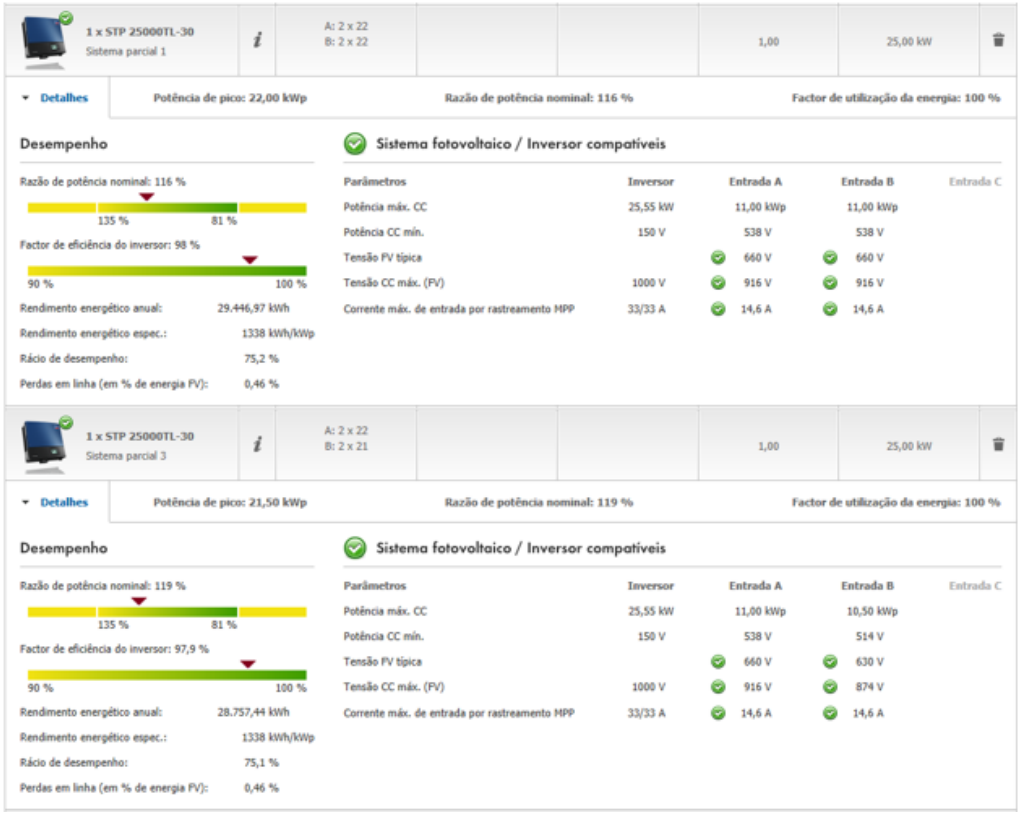


Figura 9.36: Dimensionamento dos Inversores

Através da análise da imagem verifica-se que todos os inversores respeitam a condição da sua potência ser superior a 70% da potência fotovoltaica e inferior a 120% da mesma.

9.4.3 Dimensionamento DC

O *software* Sunny-Design 3 permite dimensionar os cabos do sistema sendo apenas necessário a introdução de alguns dados como o seu cumprimento, procedendo-se depois à seleção da secção que permita cumprir as condições estabelecidas neste tipo de dimensionamento, nomeadamente, as condições de aquecimento e de queda de tensão.

9.4.3.1 Cabos DC

Segundo a norma IEC 60364-7-712, os cabos DC devem suportar uma corrente de valor até 25% superior à corrente de curto-circuito dos painéis.

$$I_z = 1,25 \times I_{SC} \; = \; 1,25 \; \times \; 8,91 \; = \; 11,14\,A \tag{9.18}$$

A secção do cabo a utilizar deve ser determinada de forma a que se verifique a condição da expressão:

$$I_z \leq I_{cabo} \tag{9.19}$$

O cabo proposto para o sistema é o Top Solar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K, do fabricante Top Cable. Na tabela 9.64, é possível observar que o cabo de 2,5 mm^2, com uma corrente de 33A cumpre o requisito acima, bem como todos os cabos de secção superiores.

Tabela 9.64: Características do Cabo DC [30]

Cross-section mm^2	Open air A	Surface A	Voltage drop V/A·km
1 x 2,5	41	33	23,0
1 x 4	55	44	14,3
1 x 6	70	57	9,49
1 x 10	98	79	5,46
1 x 16	132	107	3,47
1 x 25	176	142	2,23
1 x 35	218	176	1,58

Apesar de todos os cabos possuírem uma corrente característica que respeita a expressão, será necessário verificar também a condição de queda de tensão máxima que para o sistema FV é de 3%, sendo recomendado o dimensionamento para um valor de 1% [75].

A secção mínima que poderá ser utilizada será obtida por:

$$Seccao > \frac{2 \times l \times I_z}{\Delta U \times N_{ps} \times k \times V_{MPP}} \tag{9.20}$$

Onde:

- l: comprimento do cabo em metros;

- N_{ps}: número de painéis por string;

- V_{MPP}: tensão MPP do painel;

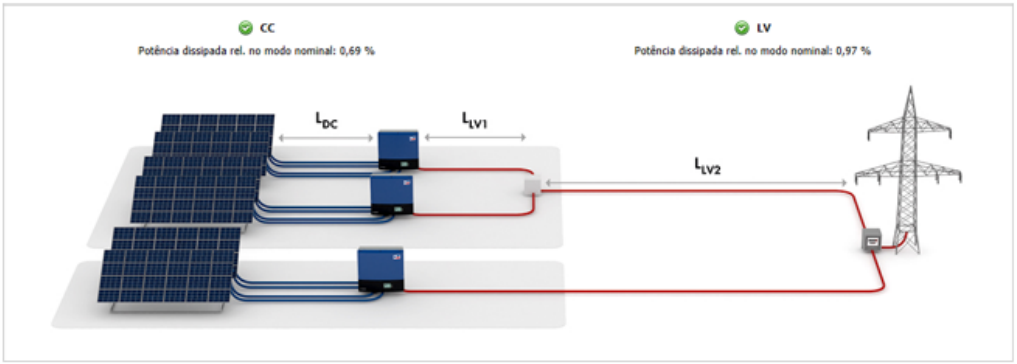
- k: condutividade do cobre, de valor 56;

- ΔU: queda de tensão máxima (1%).

Através do *software* (figura 9.37), é possível obter a secção mínima dos cabos a utilizar, sendo que se verificou que a indicada é de 4 mm^2. Na tabela 9.65 apresenta-se a secção e o cumprimento, incluindo retorno. No programa foram introduzidos os mesmos valores divididos por 2, uma vez que o *software* calcula o retorno do cabo.

Tabela 9.65: Cabos DC a dimensionar

Inversor			**metros**	**nºpainéis**
Inversor 1	A	String 1	136	22
		String 4		22
	B	String 2	88	22
		String 3		22
Inversor 2	A	String 5	92	22
		String 8		22
	B	String 6	88	22
		String 7		22
Inversor 3	A	String 9	136	22
		String 10		22
	B	String 11	96	21
		String 12		21



Cabos de CC | Cabos LV1 | Cabos LV2 | Cabo LV3

		Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Corrente	Tensão	Queda de tensão	Potência dissipada rel.	
EASR_FV								0,69 %	
Projeto								0,69 %	
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	A	Cobre	68,00 m	4 mm²	18,20 A	606,9 V	5,3 V	0,88 %	
	B	Cobre	44,00 m	4 mm²	18,20 A	606,9 V	3,4 V	0,57 %	
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 2	A	Cobre	46,00 m	4 mm²	18,20 A	606,9 V	3,6 V	0,59 %	
	B	Cobre	44,00 m	4 mm²	18,20 A	606,9 V	3,4 V	0,57 %	
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 3	A	Cobre	68,00 m	4 mm²	18,20 A	606,9 V	5,3 V	0,88 %	
	B	Cobre	48,00 m	4 mm²	18,20 A	579,3 V	3,8 V	0,65 %	

Figura 9.37: Dimensionamento dos Cabos DC no Sunny-Design 3

Como se pode observar na figura 9.37, a potência dissipada relativa não ultrapassa o valor de 1%, o que respeita o limite considerando a queda de tensão máxima de 1%.

9.4.3.2 Fusíveis DC

Para ser possível realizar a proteção das *strings* e separar os painéis FV dos inversores, deve ser dimensionada a proteção por fusível DC, introduzindo 2 por *string* (terminais positivo e negativo). A proteção é então realizada de forma independente a cada *string*. O fusível deve atuar quando a tensão sobe acima de um dado valor.

$$V_{fusivel} \geq 1,15 \times N_{ps} \times V_{CA} = 1,15 \times 22 \times 37,3 = 943,69V \tag{9.21}$$

A corrente nominal do fusível será:

$$I_n > 1,56 \times I_{SC} = 1,56 \times 8,91 = 13,90V \tag{9.22}$$

Uma vez que o sistema é constituído por 12 *strings*, serão necessários 24 fusíveis DC. Tendo sido determinados os parâmetros característicos do fusível, propõe-se a utilização de um fusível da marca Hager, de referência LF315PV (10x38mm) com 1000 VDC de característica de tensão e 15 A de característica de corrente. Será necessário a instalação dos fusíveis, individualmente, num corta-circuitos porta-fusíveis. Propõe-se a utilização do modelo L501PV da marca Hager. Para albergar todos os porta-fusíveis sugere-se a aquisição de uma caixa estanque Hager (VE212SN) de IP65 com capacidade para 24 porta-fusíveis.

9.4.3.3 Interruptor DC

O interruptor DC permite realizar o isolamento entre os painéis FV e os inversores, sendo utilizado um interruptor em cada inversor. Permitem a realização de manutenção e reparação em segurança, bem como, a própria instalação do sistema.

Estes devem ser dimensionados para a tensão máxima do sistema para -10°C.

$$V_{n\ interruptor} \geq V_{CA}(-10°) \times N_{ps} \geq 41,61 \times 22 = 915,40V \tag{9.23}$$

A corrente nominal é determinada por:

$$I_{n\ interruptor} > 1,25 \times I_{SC,FV} > 1,25 \times 8,91 = 11,14A \tag{9.24}$$

Em que $I_{SC,FV}$ é a corrente em cc de uma *string*.

Sabe-se agora que os interruptores indicados para este sistema FV deverão suportar uma tensão superior a 915,40 V e corrente superior a 11,14 A. Assim, é proposta a utilização do modelo SB432PV da Hager, cujas características de tensão e corrente são 1000 VDC e 32 A, respetivamente.

9.4.4 Dimensionamento AC

Também na parte AC do sistema é possível realizar o dimensionamento dos cabos no Sunny Design 3.

9.4.4.1 Cabos AC

Na instalação FV proposta contam-se diferentes cabos AC a ser dimensionados. Existirão 3 cabos, um por cada inversor, que ligarão estes ao Quadro Elétrico (QE), de onde sairá um quarto cabo, para a ligação ao QGBT. Uma vez que o QE será instalado na cobertura o do Bloco B, perto dos painéis, será instalado dentro de um Armário de Distribuição (AD), o que lhe conferirá proteção extra contra as intempéries. Os comprimentos de todos os cabos acima mencionados são descriminados na tabela 9.66.

Tabela 9.66: Cabos AC

Cumprimento e ligação dos Cabos AC (m)				
QGBT	30	AD	48	Inversor 1
			28	Inversor 2
			7	Inversor 3

Para dar início ao dimensionamento deste tipo de cabos é necessário definir o seu modo de instalação, sendo que, para este projeto se definiu que os cabos que ligam os inversores ao AD serão instalados à vista com fixação direta, enquanto que o cabo que estabelece ligação entre o AD e o QGBT, será instalado em calha à vista. Para além disso definiu-se que serão utilizados cabos isolados a PEX, devido à sua garantia de isolamento e características de propagação do fogo.

Para todos os cabos terão de ser verificadas as condições de aquecimento e de queda de tensão. Para verificar a condição de aquecimento ter-se-ão de respeitar as seguintes condições:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \tag{9.25}$$

$$I_Z = f_c \times I'_Z \tag{9.26}$$

$$I_2 = 1{,}45 \times I_Z \tag{9.27}$$

Onde:

-I_B: corrente de serviço;

-f_c: fator de correção a aplicar, que neste projeto assume o valor de 1;

-I'_Z: máxima corrente admissível do cabo;

-I_Z: máxima corrente admissível na canalização para as condições efetivas de instalação (neste caso $I_Z = I'_Z$);

-I_2: corrente convencional de funcionamento dos fusíveis ou disjuntores;

-I_N: corrente estipulada dos fusíveis ou disjuntores.

Consultando o Quadro 52-G do RTIEBT [76] obtém-se as referências relativas ao Quadro 52H, onde por sua vez, consoante o modo de instalação selecionado, é possível saber os métodos de referência relativos aos Quadros 52-C1 a 52-C30 do regulamento. Neste caso, obteve-se a referência 11 para os cabos dos inversores ao QE e a referência 32 para o cabo que liga o QE ao QGBT.

A referência 11 remete para o método de referência C a consultar no Quadro 52-C4 (PEX com 3 condutores carregados), onde é possível determinar a secção dos condutores de fase e o valor de I'_Z (consequentemente tem-se I_Z). Sabe-se que este valor deve ser maior que a corrente de serviço, que se assume como sendo a corrente máxima de saída dos inversores selecionados. Justifica-se esta opção com o objetivo de obter margens de segurança para o sistema (para o cabo do QE ao QGBT, I_B é a soma das I_B dos 3 cabos do inversor ao QE). Nas secções 524,2 e 524,3 do RTIEBT é possível obter dados indicativos para secção do neutro, que varia consoante a secção de fase obtida. Seguindo o mesmo procedimento, obtém-se os mesmos dados para o cabo do QE ao QGBT.

O passo seguinte é determinar para todos os cabos os valores de I_N e I_2, o que pode ser feito através da consulta da norma EN 60898. Todos os valores devem ser dimensionados com base nas expressões 9.25 a 9.27.

Após se ter cumprido a condição de aquecimento e definido secções dos cabos, é necessário verificar se a condição e aquecimento é também cumprida.

Para este caso, considerou-se a queda de tensão máxima admissível de 1%. A expressão que permite obter a queda de tensão nos condutores é:

$$\Delta U \ = \ r_f \ (°C) \times L \ \times \ I_B \tag{9.28}$$

Onde:

- r_f (°C): resistência linear do condutor de fase para a temperatura máxima de funcionamento, que varia consoante o tipo de isolamento;

Para determinar r_f (°C), considerando que o isolamento do cabo é em PEX, consultam-se as secções 434.3.2, 523.1.1 e 543.1.1, de onde se obtém a temperatura máxima de funcionamento de 90 °C. Para obter a resistência linear do cabo a essa temperatura será necessário obter a resistência linear a 20 °C e aplicar-lhe o devido coeficiente de correção da resistência com a temperatura (K_θ). O Valor de r_f (20°C) e K_θ podem ser obtidos através da consulta das Tabelas, Regras e Dados Diversos para dimensionamento de canalizações elétricas [67], sendo que, a resistência linear varia com a secção do cabo em dimensionamento.

Assim:

$$r_f \ (90 \ °C) = \ r_f \ (20 \ °C) \times \ K_\theta \tag{9.29}$$

Após a aplicação deste valor na expressão 9.28, obtém-se um valor em V, realizando depois a conversão para percentagem, de modo a ser possível confirmar a condição:

$$\Delta U \ (\%) \leq 1\% \tag{9.30}$$

Sempre que a condição de queda de tensão não for respeitada, aumenta-se a secção do cabo, atualizando-se todas as grandezas desta dependentes, como os calibres dos fusíveis ou disjuntores, e a resistência linear, até se atingir uma queda de tensão inferior a 1%.

Através do Sunny Design 3, introduzindo os cumprimentos dos diferentes cabos, é possível otimizar a secção mínima dos mesmos e obter os restantes valores de dimensionamento. Nas figuras 9.38 e 9.39, são apresentados os resultados obtidos do programa, para os cabos dos inversores ao QE (LV1) e do QE ao QGBT (LV2), respetivamente.

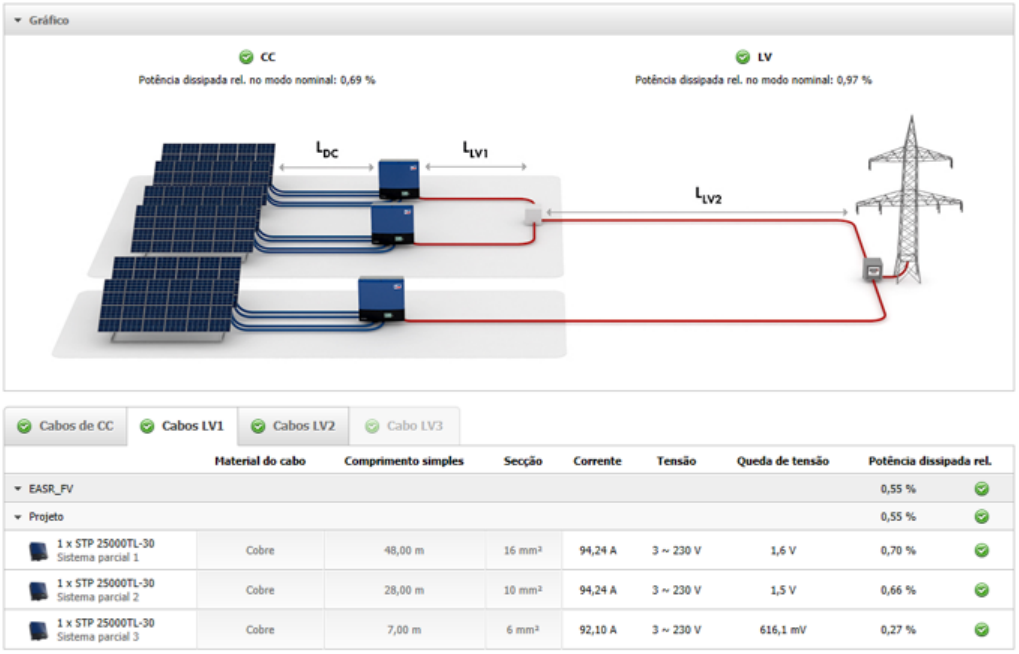


Figura 9.38: Dimensionamento dos cabos LV1 (AC) no Sunny Design 3

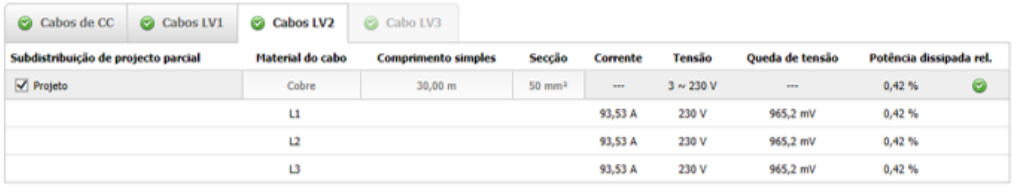


Figura 9.39: Dimensionamento dos Cabos LV2 (AC) no Sunny-Design 3

Como se pode constatar, através da análise das figuras, o limite de tensão foi respeitado em todos os condutores. Nas tabelas 9.67 e 9.68 são apresentados os dados mais relevantes do dimensionamento dos cabos AC deste sistema, bem como os cabos propostos para este projeto.

Tabela 9.67: Dimensionamento dos cabos AC - Parte 1

De	Para	IB (A)	IN (A)	IZ (A)	I2 (A)	1,45xIZ (A)	ΔU (%)
Inversor 1	QE	36,20	40	96	58	139,20	0,70
Inversor 2	QE	36,20	40	71	58	102,95	0,66
Inversor 3	QE	36,20	40	52	58	75,40	0,27
QE	QGBT	108,60	125	154	200	233,30	0,42

Tabela 9.68: Dimensionamento dos cabos AC - Parte 2

De	Para	Sfase (mm2)	Sneutro (mm2)	Cabo Selecionado
Inversor 1	QE	16	16	XV4G6
Inversor 2	QE	10	10	XV4G10
Inversor 3	QE	6	6	XV4G16
QE	QGBT	50	25	XV3x50 + 2G25

9.4.4.2 Fusíveis AC

Para proteger o cabo que liga o QE ao QGBT será utilizado um fusível AC. Para o seu dimensionamento é necessário a determinação da corrente de cc mínima fase-neutro.

$$Icc_{FN\ min} = \frac{c \times 230}{(rf(20\ ^\circ C) + rn(20\ ^\circ C))\ \times\ K_{250\ ^\circ C}\ \times\ l} \tag{9.31}$$

Onde:

- rn(20°C): resistência linear do neutro à temperatura de funcionamento

- $K_{250°C}$: coeficiente de correção da resistência para a temperatura máxima de funcionamento.

- c: coeficiente de valor da corrente de cc.

- l: comprimento do cabo em km

O valor $K_{250°C}$, pode ser obtido, como já referido, no Quadro 6 do documento em [67]. Sabe-se que para o nível de BT o valor de c para cc mínimo assume o valor de 0,95.

$$Icc_{FN\ min} = \frac{0,95 \times 230}{(0,387 + 0,727)\ \times\ 1,9085\ \times\ 0,03} = 3425,73A \tag{9.32}$$

Determina-se, agora, o tempo de fadiga térmica (t_{ft}):

$$t_{ft} = \left(\frac{K \times S}{Icc}\right)^2 = t_{ft} = \left(\frac{143 \times 25}{3425,73}\right)^2 = 1,09s \tag{9.33}$$

Onde:

- K: coeficiente que varia consoante o tipo de isolamento do cabo;

- S: secção a considerar para o tempo de fadiga térmica.

O valor de K pode ser consultado na secção 434.3.2 do RTIEBT, sendo que para PEX assume um valor de 143. A secção a considerar para o cálculo da fadiga térmica, aquando de curto-circuitos F-N em canalizações trifásicas, é a de neutro.

Através da norma CEI 269-2, consultando as curvas de funcionamento dos fusíveis gL/Gg é possível determinar o tempo de atuação do fusível, que tem um calibre de 125 A. Tem-se:

$$t_{op} = 0,008s \tag{9.34}$$

As condições necessárias são verificadas:

$$t_{op} < t_{ft} \; e \; t_{op} < 5s \tag{9.35}$$

Calculando o Poder de Corte do fusível:

$$Poder\ de\ Corte = \frac{1}{x_f} \times I_{Base} \tag{9.36}$$

Onde:

- x_f: reatância de fugas do transformador (x_f = 4%)

- I_{Base}: Corrente de Base

Pelas RTIEBT, os dados a considerar para o cálculo de correntes de cc máximas numa instalação, em falta de informação mais precisa, são:

- Potência de cc máxima (Scc máxima): infinita
- Potência do Transformador de Alimentação: 630 kVA
- Reatância de fugas do transformador (x_f): 4%, para 10 ou 15 kV
- Comprimento do cabo: 20 m.

Para uma potência de base (S_{Base}) de 630 kVA, a corrente de base assume um valor de 909,33 A.

$$Poder\ de\ Corte = \frac{1}{0,04} \times 909,33 = 22,73kA \tag{9.37}$$

Após o dimensionamento, propõe-se a utilização do fusível da marca Hager, LF599 de calibre 125 A e poder de corte de 120 kA (superior ao valor determinado para o poder de corte do fusível).

9.4.4.3 Disjuntores AC

Os disjuntores AC realizam a proteção dos cabos que ligam o inversor ao QE, sendo instalados neste ultimo. Para o seu dimensionamento será necessário determinar três correntes de cc distintas:

- fase-neutro mínima:

$$Icc_{FN\ min} = \frac{c \times 230}{[((2 \times rf_{LV1}(20\,^\circ C) \times l_{LV1}) + ((rf_{LV2}(20\,^\circ C) + rn_{LV2}(20\,^\circ C)) \times l_{LV2})] \times K_{250\,^\circ C}} \tag{9.38}$$

Onde:

- rf_{LV1}(20 ºC): resistência linear da fase a 20°C do cabo que liga os inversores ao QE;
- rf_{LV2}(20 ºC): resistência linear da fase a 20°C do cabo que liga o QE aos QGBT;
- rn_{LV2}(20 ºC): resistência linear do neutro a 20°C do cabo que liga o QE aos QGBT (ohm/km);
- l_{LV1}(20 ºC): comprimento do cabo que liga os inversores ao QE, em km.
- l_{LV2}(20 ºC): comprimento do cabo que liga o QE ao QGBT, em km

• fase-neutro máxima:

$$Icc_{FN\ max} = \frac{c \times 230}{(rf_{LV2}(20\ ^\circ C) + rn_{LV2}(20\ ^\circ C)) \times l_{LV2}} \tag{9.39}$$

• trifasica máxima:

$$Icc_{3F\ max} = \frac{c \times U_k}{Z_k} \tag{9.40}$$

Como já referido, a potência de cc é considerada infinita, pelo que a corrente de cc máxima também o será. Isto conduz a uma impedância nula a montante do QGBT:

$$S_{Base} = 630kVA \tag{9.41}$$

$$U_{Base} = 400V \tag{9.42}$$

$$I_{Base} = 909,33A \tag{9.43}$$

$$Z_{Base} = 0,25397\Omega \tag{9.44}$$

Obtém-se a reatância de fugas do transformador e os parâmetros da linha LV2, em p.u.

$$X_{p.u.} = X_{fugas}\ \frac{S_{Base}}{S_{transformador}} \times \left(\frac{U_{BT}}{U_{Base}}\right)^2 \tag{9.45}$$

$$R_{LV2} = \frac{R_{LV2}}{Z_{Base}} \tag{9.46}$$

$$X_{LV2} = \frac{X_{LV2}}{Z_{Base}} \tag{9.47}$$

Calcula-se impedância equivalente a montante do QE:

$$Z_{eq}\ (p.u.) = jX_{p.u.} + R_{LV2} + jX_{LV2} \tag{9.48}$$

Finalmente:

$$Icc_{3F\ max}\ (A) = \frac{1}{|Z_{eq}|} \times I_{Base} \tag{9.49}$$

Após a determinação dos valores das correntes, segue-se o cálculo dos tempos de fadiga térmica máximos e mínimos e de operação das proteções. Os tempos de operação podem ser determinados, através da consulta da curva característica C, de disparo do disjuntor. Para isso deve ser determinado o I_N da característica:

$$I_{Ncaracteristica} = \frac{Icc}{I_N} \tag{9.50}$$

O t_{ft} máximo é calculado com recurso à corrente de cc trifásica máxima, enquanto que o mínimo se relaciona com a corrente mínima de cc fase-neutro.

Os cálculos acima apresentados para os três tipos de cc são realizados para os três cabos que ligam os inversores ao QE, uma vez que possuem característica distintas. Na tabela 9.69 são apresentados os parâmetros necessários para o dimensionamento dos disjuntores, e nas tabelas 9.70, e 9.71 os valores resultantes.

Tabela 9.69: Dados para o Dimensionamento dos Disjuntores

De	Para	Rf (20ºC) LV1	Rf (20ºC) LV2	Rn (20ºC) LV2	IN (A)	LV1 (km)	LV2 (km)
Inversor 1	QE	1,15	0,387	0,727	40	0,048	0,03
Inversor 2	QE	1,83				0,028	
Inversor 3	QE	3,08				0,007	

Tabela 9.70: Resultados do dimensionamento dos Disjuntores - correntes

De	Para	Icc FN min (A)	Icc FN max (A)	Icc 3F max (A)	IN_car_min (A)	IN_car_max (A)
Inversor 1	QE	796,05	6882,11	13539,55	19,9	338,49
Inversor 2	QE	842,44	6882,11	13539,55	21,06	338,49
Inversor 3	QE	1495,79	6882,11	13539,55	37,39	338,49

Tabela 9.71: Resultados do dimensionamento dos Disjuntores - tempos

De	Para	tft max (s)	tft min (s)	top	Top <Tft e top <5s
Inversor 1	QE	0,028	8,36	instantâneo	Sim
Inversor 2	QE	0,011	2,88	instantâneo	Sim
Inversor 3	QE	0,004	0,33	instantâneo	Sim

O poder de corte do disjuntor deve ser superior à corrente de cc trifásica máxima, ou seja, superior a 13,54 kA. É instalado no QE um disjuntor por cada cabo que liga os inversores ao QE, num total de 3. Propõe-se a utilização do modelo de disjuntor NRN440 tetrapolar, de calibre 40 A e poder de corte de 20 kA, da Hager.

9.4.4.4 Interruptor Diferencial

Para proteger os cabos dos inversores ao QE, para além de disjuntores, são utilizados interruptores diferenciais, cuja sensibilidade deverá ser de 30 mA devido às correntes residuais capacitivas, habituais em sistemas FV. Tal proteção torna-se relevante, devido à ligação das massas à terra e dos inversores não possuírem transformador de isolamento.

O calibre destes interruptores deve ser dimensionado tendo em conta o calibre dos disjuntores AC. Sendo que os disjuntores dimensionados possuem um calibre de 40 A, os interruptores serão, pelo menos, dimensionados para essa corrente. Assim, propõe-se o modelo CDC440A da Hager, com sensibilidade diferencial de 30 mA e intensidade nominal de 40 A. Serão necessárias 3 unidades instaladas no QE, a montante dos disjuntores.

9.4.4.5 Interruptor Omnipolar Geral

A ser instalado no QGBT, o interruptor omnipolar geral deverá possuir um poder de corte suficiente para as correntes de serviço do sistema.

$$I = \frac{P_{sist}}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{75000}{\sqrt{3} \times 400} = 108,25A \tag{9.51}$$

Propõe-se o modelo HA451, marca Hager, de calibre 125 A.

9.4.4.6 Proteção Contra Descargas Atmosféricas

É, ainda, necessário proteger o sistema contra descargas atmosféricas, uma vez que se encontra no topo de um edifício. Tal pode ser feito através da ligação dos módulos à terra, o que cria uma ligação equipotencial para todos os equipamentos condutores não ativos.

Para os circuitos ativos poderá utilizar-se descarregadores de sobretensões (DST). Do lado DC são instalados perto dos interruptores, e do lado AC no barramento de ligação entre inversores, no entanto, o modelo de inversor escolhido possui capacidade de proteção contra este tipo de descargas.

9.4.5 Análise Económica

Foi realizado, no Sunny Design 3 o dimensionamento e análise de resultados para os dois regimes de produção (UPP e UPAC). Importa analisar a rentabilidade de ambos, de modo a decidir se o investimento será vantajoso, bem como, qual dos dois regimes trará maior proveito.

O sistema dimensionado cumpre os requisitos de ambos os regimes anteriormente referidos, pelo que, após a definição da configuração do sistema FV, basta optar pelo regime de produção mais vantajoso.

Será necessário determinar o investimento. Elaborou-se o Mapa de Quantidades e Orçamento apresentado na figura 9.72.

Tabela 9.72: Mapa de Quantidades e Orçamento do Projeto FV da EASR

Mapa De Trabalhos e Quantidade - Orçamento					
Designação	**Fabricante**	**Quantidade**	**Unidade**	**Preço Unitário (€)**	**Preço (€)**
Painéis FV					
Mprime G Series	MARTIFER SOLAR	262	-	120	31.440,00
Estruturas					
Triangular - 1 Painel		262	-	41,4	10.846,80
Inversores					
Sunny Tripower 25000TL-30	SMA	3	-	2847,8	8.543,40
Cabos DC					
Top Solar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K - 4 mm^2	Top Cable	1272	m	1,232	1.567,10
Interruptores DC					
SB432PV - 4P 32A 1000V DC	Hager	3	-	193,22	579,66
Fusíveis DC					
LF315PV - 10x38 1000V DC 15A	Hager	24	-	6,31	151,44
Corta Circuitos Porta Fusíveis DC					
L501PV - 1P 1000VDC 32A	Hager	24	-	5,06	121,44
Caixas Estanques					
VE212SN	Hager	1	-	73,73	73,73
Cabos AC					
XV3x50+2G25 (6187077)	Cabelte	0,03	km	29712	891,36
XV4G6 (6187102C)	Cabelte	0,007	km	3721	26,05
XV4G10 (6183558)	Cabelte	0,028	km	6214	173,99
XV4G16 (6183560)	Cabelte	0,048	km	9619	461,71
Disjuntores AC					
NRN440 4P 40A C 20kA 4M	Hager	3	-	218,14	654,42
Fusíveis de facas gG					
LF599 - 22x58 gG 125A 400V	Hager	3	-	3,67	11,01
Interruptor Omnipolar Geral					
HA451 - 4P 125A	Hager	1	-	104,28	104,28
Interruptores Diferenciais					
CDC440A	Hager	3	-	117,99	353,97
Quadro					
QE		1	-	457,4	457,40
Armário					
AD		1	-	275,9	275,90
Mão de obra/Custo de Instalação					23.580,00
Custo de Investimento Inicial					**80.313,67**

Verifica-se que o investimento inicial é de 80.313,67 €.

9.4.5.1 UPAC

Através do programa é possível retirar todos os dados necessários para um correto estudo da rentabilidade do sistema de autoconsumo. Na figura 9.40 é possível observar o resultado final do projeto.

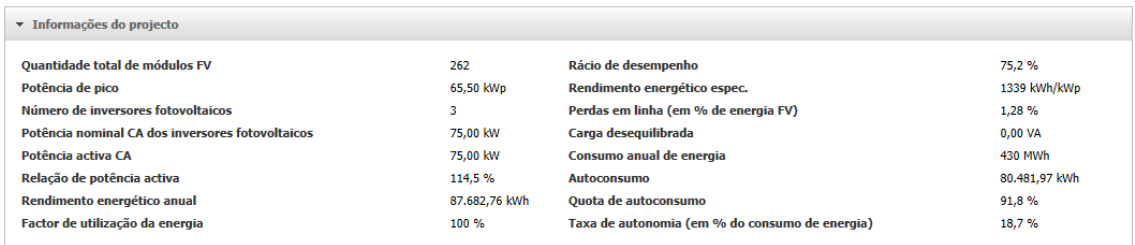


Figura 9.40: Resultados finais do projeto UPAC da EASR

O valor do Autoconsumo é determinado pelo programa, e como se pode observar na figura 9.41, atinge o valor de 80.482 kWh, representando uma taxa de autonomia de 18,7%, isto é, permite suprir cerca de 19% das necessidades energéticas da escola. Note-se que esse valor conduz a uma quota de autoconsumo de 91,8%, sendo que os restantes 8,2% dizem respeito à energia injetada na rede (7.201 kWh). A soma destas quantidades indicará o rendimento energético.

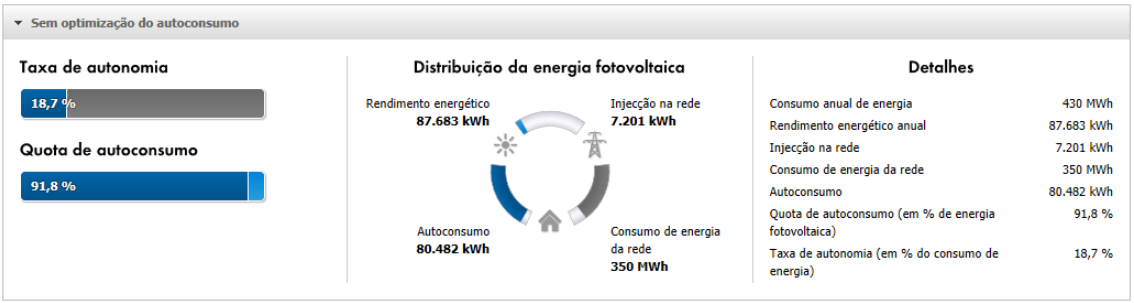


Figura 9.41: Determinação do Autoconsumo

A introdução da UPAC na EASR permite assim reduzir a energia adquirida à rede, nos períodos em que o recurso solar está disponível. Esta redução é determinada pelo autoconsumo. Uma vez que não serão instalados equipamentos de armazenamento (baterias), o consumo de energia da rede nas horas em que não exista esse recurso, manter-se-á. Na figura 9.42 é possível observar a redução anual considerável da energia requisitada à rede nas horas com disponibilidade de recurso. Verifica-se que das 06h00 e as 18h00, existe redução, sendo esta mais acentuada das 08h00 às 16h00 (período de maior intensidade da irradiação).

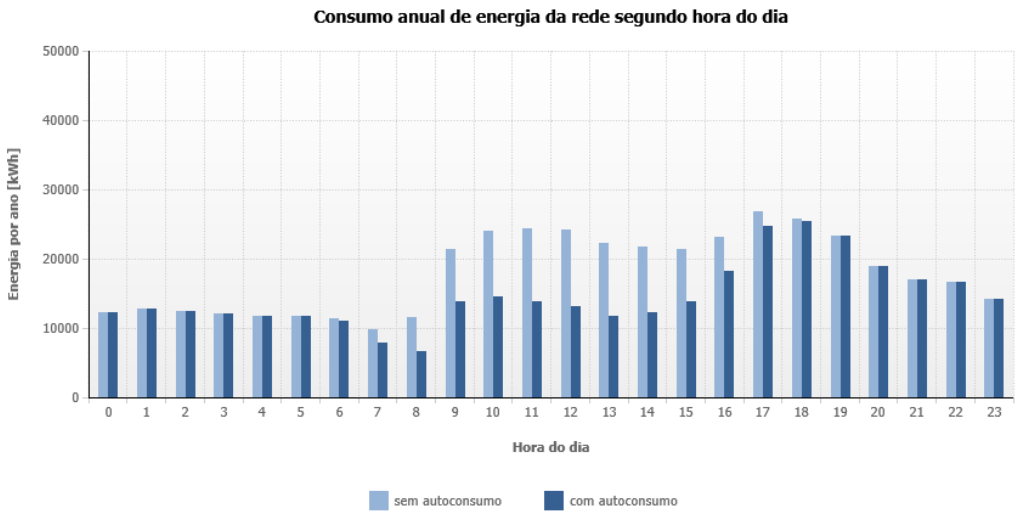


Figura 9.42: Redução do consumo anual de energia segundo a hora do dia

A redução de consumo traduz-se numa redução de custos com a fatura de energia. Essa redução é estimada pelo próprio Sunny Design 3, que como se pode observar na figura 9.43, se cifra em cerca de 12.000 € para o primeiro ano.



Figura 9.43: Comparação dos custos anuais de eletricidade com e sem UPAC

Sabe-se que as tarifas têm vindo aumentar anualmente, a uma taxa de encarecimento de 2,2 pontos percentuais. Tendo este valor em consideração e o investimento inicial importa determinar o tempo de retorno e o lucro ao fim de 25 anos (tempo de vida útil do sistema FV). O valor calculado para o retorno indicará se o projeto é viável ou se não compensará o investimento.

Recorrendo novamente ao software, conclui-se que o projeto UPAC apresente um tempo de retorno de 7 anos, com um lucro de 287.328 €. O gráfico da figura 9.44 foi obtido no programa e ilustra os dados referidos. Os custos de compra de eletricidade evitados ao fim de 25 anos são de 337.377 €.

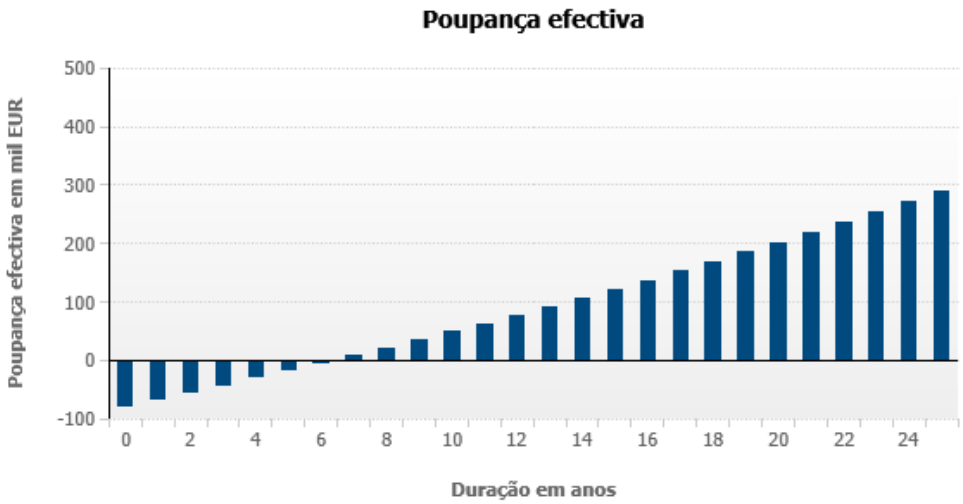


Figura 9.44: Tempo de retorno e poupança efetiva ao fim de 25 anos da UPAC

Conclui-se que o projeto UPAC é viável.

9.4.5.2 UPP

Para o funcionamento como UPP do sistema FV foi também possível obter todos os dados necessários para avaliação do seu potencial, tendo em consideração que a totalidade da energia produzida é injetada na rede. O investimento inicial para este projeto é de 80.313,67 €.

Analisando a sua rentabilidade, obtém-se um tempo de retorno de 7 anos, com uma poupança efetiva após 25 anos de cerca de 365.000 €.

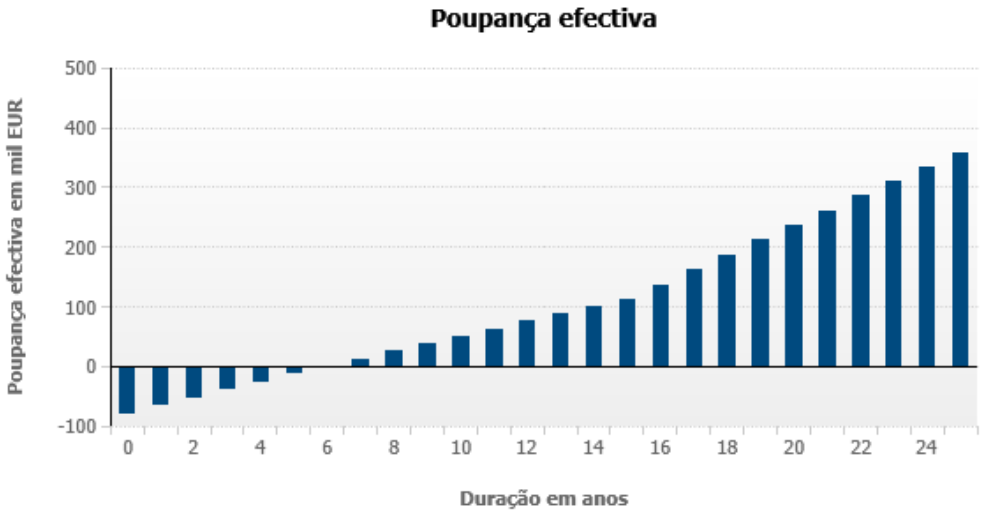


Figura 9.45: Tempo de retorno e poupança efetiva ao fim de 25 anos da UPP

Conclui-se que o projeto UPP é viável.

9.4.5.3 Comparação entre os projetos UPAC e UPP

Tendo concluído que ambos os projetos são viáveis, realizar-se-á a sua comparação, de modo a optar pelo regime mais vantajoso para a EASR.

Na tabela 9.73, apresentam-se os dados relativos a ambos os projetos, e que servirão de fatores de decisão.

Tabela 9.73: Comparação entre UPAC e UPP

	UPAC	UPP
Investimento (€)	80.313,67	80.313,67
Retorno (anos)	7	7
Poupança efetiva (€)	287.328	365.000

Verifica-se que ambos os regimes de produção possuem o mesmo tempo de retorno (7 anos), sendo que a UPP apresenta uma poupança efetiva superior. Este facto pode ser justificado com a diferente remuneração a que os dois regimes estão sujeitos, com a compensação por injeção na

rede, em UPP, a ser superior ao valor de aquisição de energia elétrica. Assim sendo, e como os tempos de retorno são iguais, conclui-se que o regime mais indicado para a EASR será a UPP.

Referir ainda que se conseguiu obter uma solução mais vantajosa do que a instalada no local, representando um acréscimo de 41,5 kWp, pelo que se propõe o investimento no sistema FV em regime UPP.

9.5 Sistemas AVAC

A EASR possui um sistema de GTC que realiza a monitorização do sistema em tempo real. Isto permite obter os dados relativos ao funcionamento dos sistemas de funcionamento da escola, como os horários de funcionamento programados e os *setpoints* dos diferentes equipamentos.

9.5.1 Caraterização do Sistema Atual

Para o funcionamento dos sistemas AVAC encontra-se instalado na escola:

- *Chiller*;
- UTA's;
- Caldeiras;
- Ventiladores;
- Ventilo-convetores;
- *Splits*;
- Radiadores;
- Sistemas de Ar comprimido;
- Bombas circuladoras;
- Compressor.

Nas figuras 9.46 a 9.48 é possível observar a disposição de alguns dos equipamentos instalados na escola.

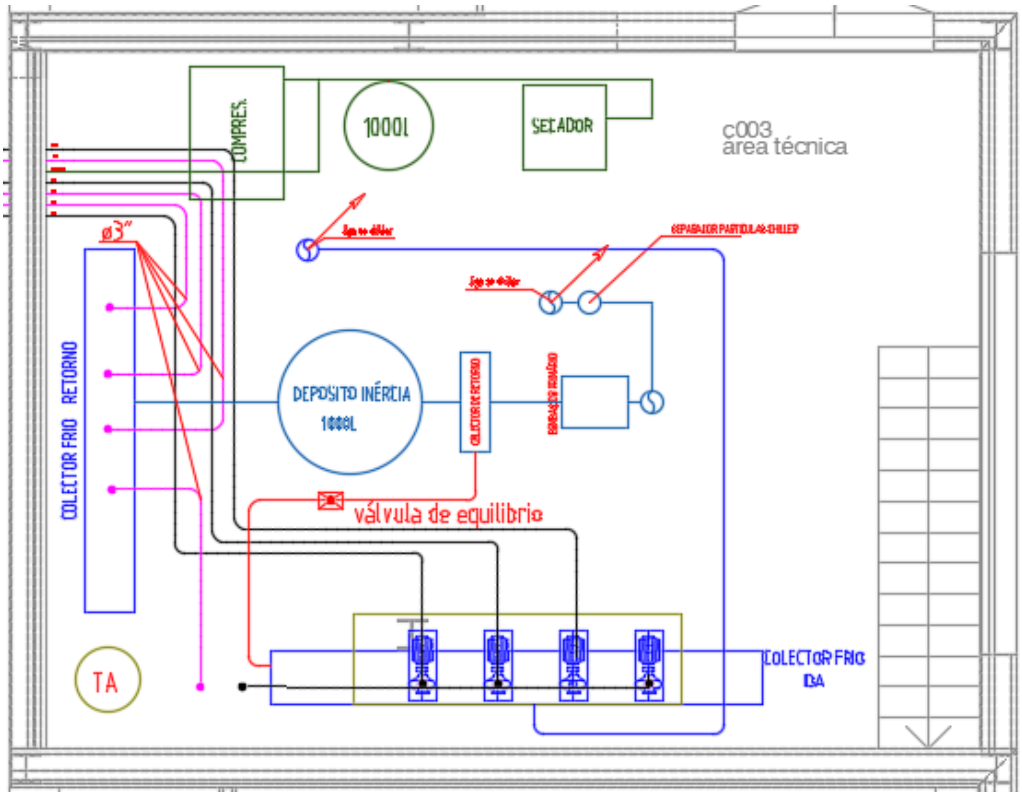


Figura 9.46: Equipamentos AVAC instalados (secador, compressor, depósito de inercia, etc.)

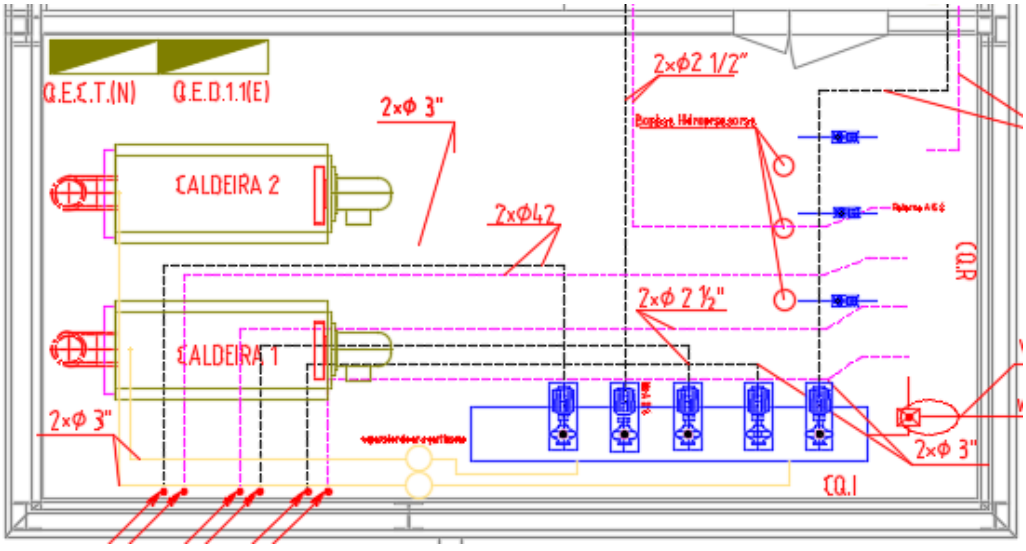


Figura 9.47: Equipamentos AVAC instalados (caldeiras e bombas circuladoras)

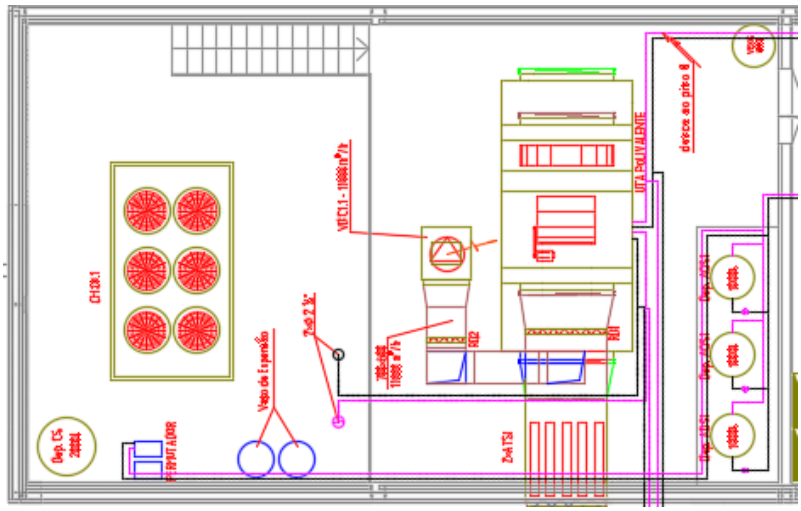


Figura 9.48: Equipamentos AVAC instalados (chiller e UTA)

Importa analisar o perfil de funcionamento destes elementos, bem como os seus *setpoints*, de modo a poder avaliar a sua eficiência.

9.5.1.1 Caldeiras

A escola possui 2 caldeiras instaladas, da marca Buderus, modelo LUGANO GE515, funcionando a gás. Servem o sistema de aquecimento de águas sanitárias, alimentado os diversos equipamentos, incluindo os radiadores, com que é realizado o aquecimento das salas de aula.

A potência das caldeiras é de 351 a 400kW, atingindo uma temperatura máxima de 120 °C. Estão ativas continuamente, sendo o seu funcionamento complementado pela existência do sistema solar térmico. Aquando da existência de recurso solar as caldeiras irão consumir, assim, menos energia.



Figura 9.49: Caldeiras da EASR

9.5.1.2 UVC e Ventiladores

As Unidade Ventilo Convectoras (UVC) da McQuay, modelo McPack, compostas por permutador e ventilador, permitem climatizar diversos espaços da EASR, sendo que existem 13 unidades instaladas na escola.

A EASR conta ainda com 65 Ventiladores, sendo estes utilizados em múltiplos espaços na EASR.

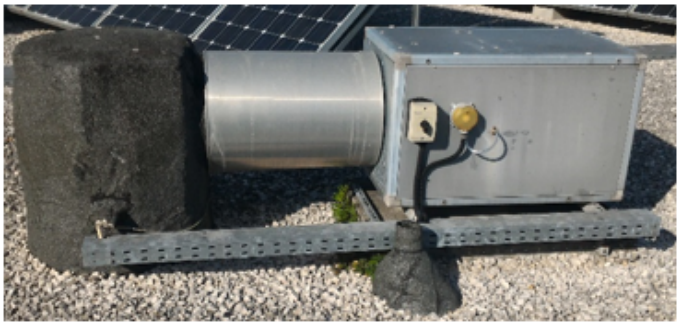


Figura 9.50: Ventilador da EASR

9.5.1.3 *SPLITS*

Fornecendo ar condicionado às salas de servidores e à zona de preparação de comida, existem ao todo 7 *splits* da marca DAIKIN. A sua regulação é manual consoante as necessidades.



Figura 9.51: Unidade SPLIT da EASR

9.5.1.4 UTA's

Existem 3 UTA's na escola, servindo a Biblioteca, o Polivalente e o Auditório. A marca dos equipamentos instalados é WESPER.



Figura 9.52: UTA da EASR

9.5.1.5 *Chiller*

O chiller da EASR encontra-se na área técnica. A marca do equipamento é a McQuay.



Figura 9.53: Chiller da EASR

9.5.1.6 *Setpoints*

Analisou-se então os diferentes *setpoints* (SP) e períodos de funcionamento dos diversos equipamentos, dados que são apresentados na tabela 9.74.

Tabela 9.74: *Setpoints* e horas de funcionamento dos equipamentos da EASR

Equipamento	SP	ON	OFF	Nº de horas (h)
Caldeiras	70,0	-	-	continuamente
Ventiladores	-	8h00	17h00	9
UVC	20 °C	8h00	18h00	10
UTA - Biblioteca	Pedido: 24 °C	8h00	17h00	8,5
	Máx: 25 °C			
	Min: 16 °C			
UTA - Anfiteatro	Pedido: 24 °C	8h30/14h30	12h30/15h30	5
	Máx: 25 °C			
	Min: 16 °C			
UTA -Polivalente	Pedido: 15 °C	8h00	17h00	9
	Máx: 30 °C			
	Min: 10 °C			
Chiller	7 °C	-	-	ocasionalmente

Através da análise dos dados da tabela podemos retirar conclusões sobre o perfil de funcionamento dos diversos equipamentos.

No caso das UTA's, o período em que estas se encontram em funcionamento é definido pela natureza específica dos espaços onde se encontram e o seu tipo de utilização. No caso do anfiteatro, o numero de horas diárias em que a UTA se encontra em funcionamento é de 5 horas devido à utilização apenas em parte do período de aulas. Já as UTA's do polivalente e da biblioteca apresentam número de horas mais alargado em funcionamento, devido a terem utilização constante no período de abertura da escola.

Relativamente aos ventiladores, encontram-se em funcionamento durante praticamente todo o período em que a escola se encontra em funcionamento letivo. O *chiller* encontra-se, por opção, desligado a maior parte do tempo, não apresentando assim grandes consumos. No sentido inverso, tem-se as caldeiras que funcionam em regime contínuo.

9.5.2 Melhoria da Eficiência do sistema

Uma vez que o chiller já se encontra maior parte do tempo desligado, não será possível reduzir mais o seu consumo.

Em relação às UTA's, é possível reduzir o seu período de funcionamento, passando do modo contínuo atual para períodos especificados de tempo, com intervalos de não funcionamento de 30 minutos, por exemplo. Nesse cenário, e considerando períodos de funcionamento parcelares de 2h, seria possível reduzir em cerca de hora e meia o tempo de utilização destes equipamentos.

A redução do número de horas de funcionamento pode ser, também conseguida para os ventiladores, que funcionam em regime permanente. Sugere-se o seu funcionamento, apenas quando existirem ocupantes nos respetivos espaços.

A realização de operações de manutenção dos diversos equipamentos é fundamental para aumentar o tempo de vida útil dos mesmos e a sua eficiência, diminuindo consumos e custos.

9.6 Análise da Qualidade de Energia

Uma vez que a qualidade de energia é fundamental para uma correta manutenção da eficiência energética, procedeu-se à sua análise nas instalações da EASR. De modo a obter os dados necessários para este estudo, instalou-se no local um analisador de rede HT GSC 53N. Este foi ligado ao QGBT e ao Quadro Principal de AVAC, por um período de uma semana cada, com registo de dados de 10 em 10 minutos. Assim, obtiveram-se dados para:

- Tensão nas fases;
- Corrente nas fases e neutro;
- Harmónicos de corrente e tensão;
- Taxa de distorção harmónica;
- Potencia aparente;
- Potencia ativa e reativa totais;
- Fator de potência.

Utilizou-se o *software Topview* para possibilitar a análise dos registos obtidos, sendo que se recorreu ao software *Excel* para tratamento de dados.

9.6.1 Tensão nas Fases

Define-se, na norma NP/EN 50160, que as variações de tensão no fornecimento de energia devem respeitar o intervalo de $\pm 10\%$ da tensão nominal (207 V < 230 V < 253 V). Isto, para 95% dos valores médios de tensão para 10 minutos, para cada semana de dados.

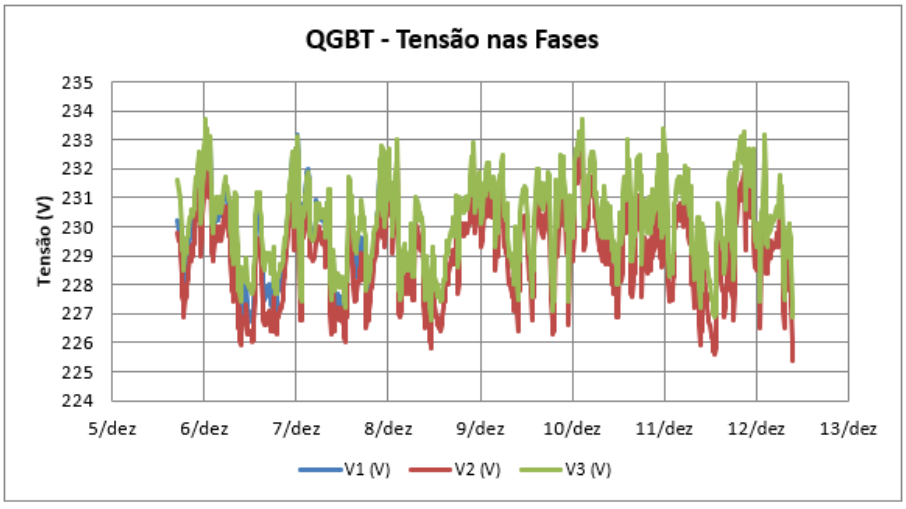


Figura 9.54: Tensão nas fases no QGBT

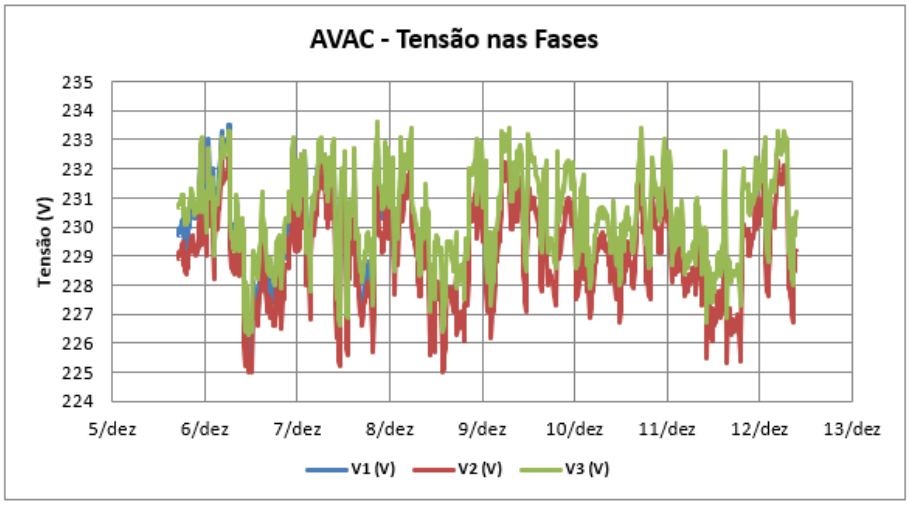


Figura 9.55: Tensão nas fases no quadro de AVAC

Para a EASR, verifica-se que todos os valores cumprem a especificação da norma, quer no QGBT, quer no quadro de AVAC, como se pode observar nas figuras 9.54 e 9.55. O valor máximo e mínimo, verificado no QGBT, é de 233,7 e 225,4 V, respetivamente. Quanto ao quadro de AVAC, o valor máximo foi de 233,7 V e o mínimo de 225 V.

9.6.2 Frequência

Em condições normais de funcionamento, segundo a norma NP/EN 50160, o valor médio da frequência de funcionamento em intervalos de 10 segundos, deve respeitar os limites máximo e mínimo de 50,5 e 49,5 Hz, respetivamente. Este limite deve ser respeitado em 99,5% dos períodos em um ano. Todos os períodos compreendidos no espaço de um ano devem encontrar-se entre 47 e 52 Hz.

Dado que não foi possível, neste projeto, registar os dados relativos a um ano completo, não se pode afirmar se a EASR cumpre os valores da norma nesse período. No entanto, foi possível avaliar se, no espaço de uma semana, os limites se encontravam dentro da conformidade. Como se pode observar nas figuras 9.56 e 9.57, o valor da frequência oscila sempre dentro dos limites da norma, quer no QGBT (49,98 a 50,12 Hz), quer no quadro de AVAC (49,98 a 50,11 Hz).

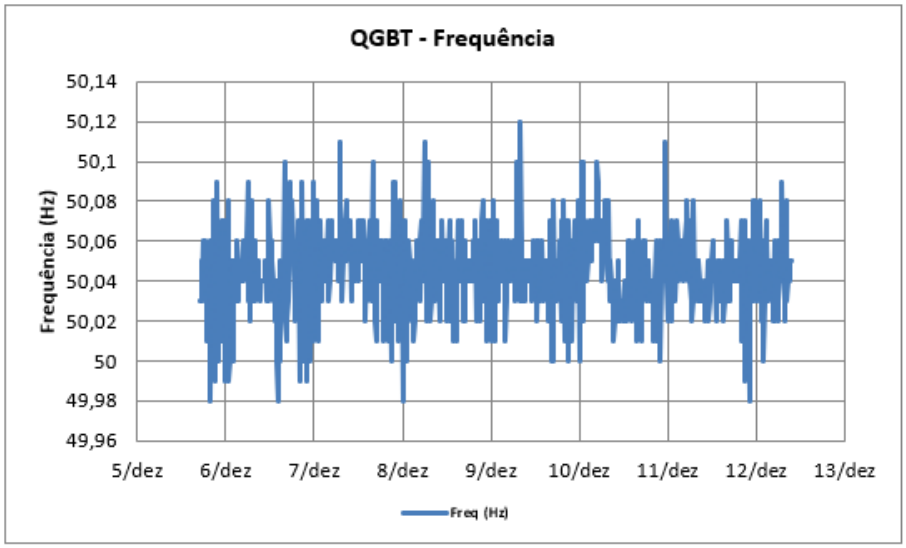


Figura 9.56: Frequência no QGBT

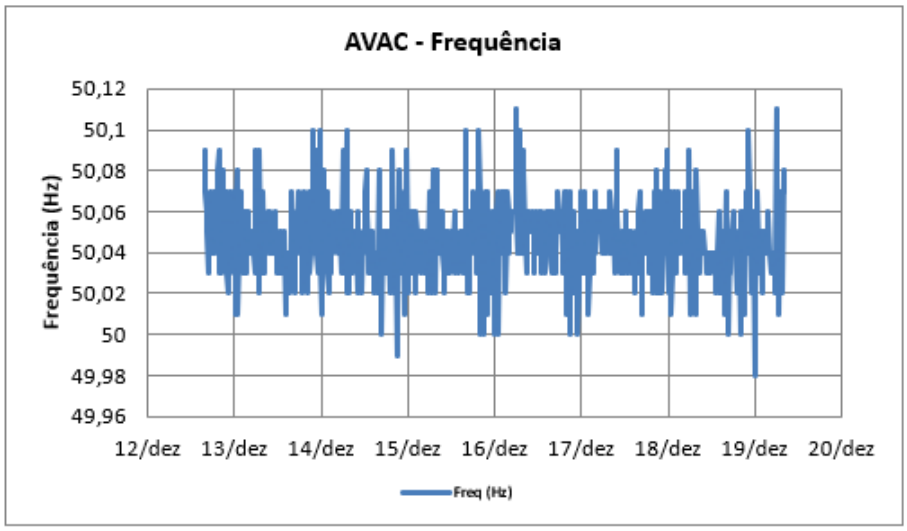


Figura 9.57: Frequência no quadro de AVAC

9.6.3 Equilíbrio Trifásico das Correntes

Analisando a corrente nas fases, medidas no QGBT, verifica-se que a fase 3 apresenta valores inferiores relativamente às restantes (figura 9.58). Tal desequilíbrio provoca a corrente no neutro verificável no gráfico da figura 9.59. Os valores de corrente reduzidos que se observam, correspondem a dias de fim de semana, em que a escola se encontra encerrada.

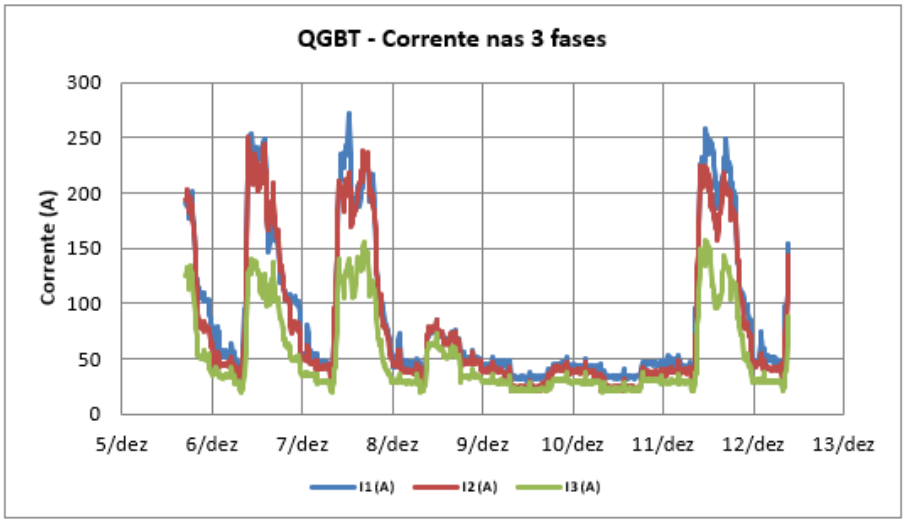


Figura 9.58: Corrente nas fases no QGBT

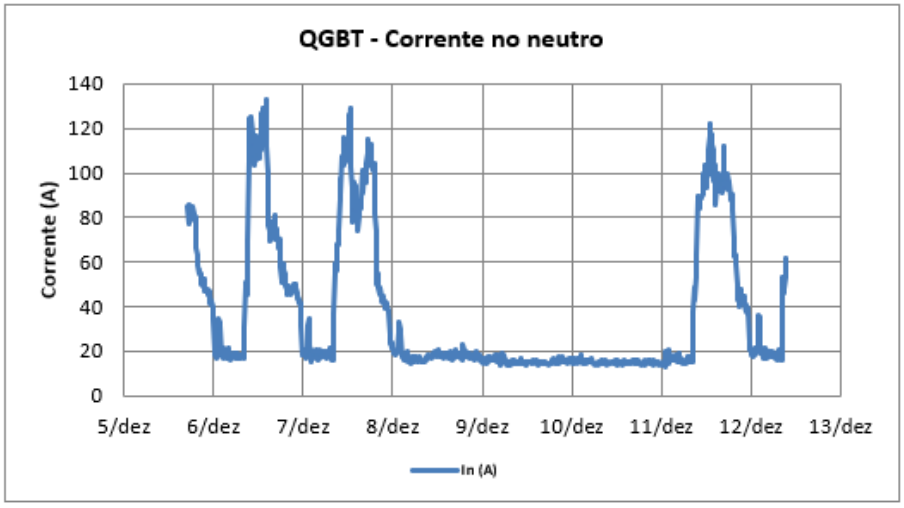


Figura 9.59: Corrente do neutro no QGBT

Os equipamentos que o quadro de AVAC alimenta, como o *chiller*, encontram-se normalmente desligados, como no caso da semana em que se efetuou os registos. Como tal, a corrente não é significativa, em relação á verifica para a instalação no QGBT.

O valor máximo verificado para a corrente foi medido na fase 2, tendo-se verificado 369,4 A. O valor mínimo medido foi de 17,22 A, também na fase 2.

Para se retirar conclusões mais precisas acerca do desequilíbrio existente, ter-se-á de analisar, na integra, as instalações constituintes da EASR, com as instalações a funcionar em plena carga. Tal não foi possível, uma vez que alguns equipamentos importantes se encontram desligados. Estes estando em funcionamento, alterariam o perfil das correntes.

9.6.4 Harmónicos de Tensão e Taxa de Distorção Harmónica de Tensão

Encontra-se definido, na norma NP/EN 50160 o valor limite de amplitude para as diversas ordens de harmónicos (tabela 9.75).

Tabela 9.75: Valores das tensões harmónicas nos pontos de entrega [31]

Harmónicas impares				Harmónicas pares	
Não múltiplas de 3		Múltiplas de 3			
Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)	Ordem h	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6..24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
Nota: Não são indicados valores para harmónicas de ordem superior a 25, por serem em geral de pequena amplitude, mas muito imprevisíveis devido a efeitos de ressonância					

Nas figuras 9.60 a 9.65 apresentam-se os valores dos harmónicos de terceira, quinta e sétima ordem, para cada fase, medidos no QGBT e no quadro de AVAC. Através da consulta da tabela 9.75, é possível obter o valor limite para cada ordem de harmónico em análise. Para os harmonicos de ordem 3 e 7 o valor limite dos harmonicos de tensão será de 5%, enquanto que para o harmónico de ordem 5, esse limite atinge os 6%.

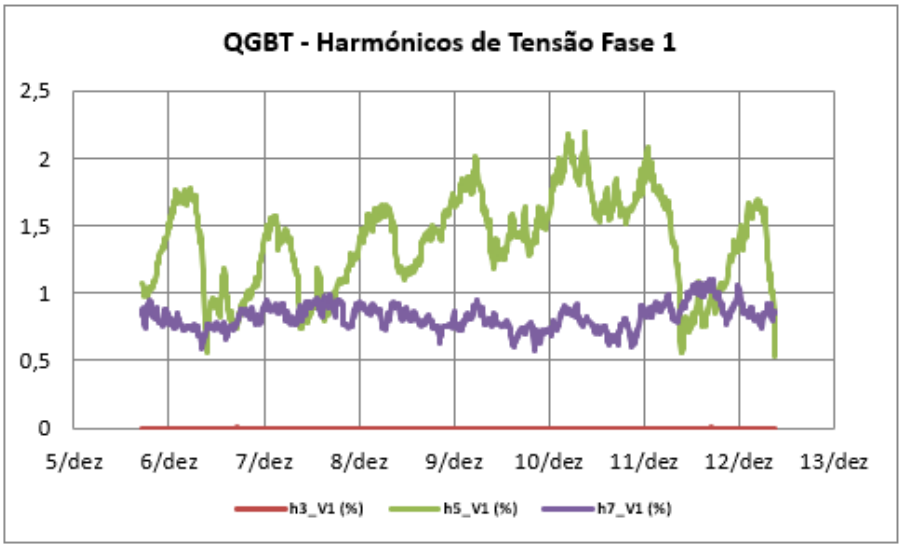


Figura 9.60: Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 1

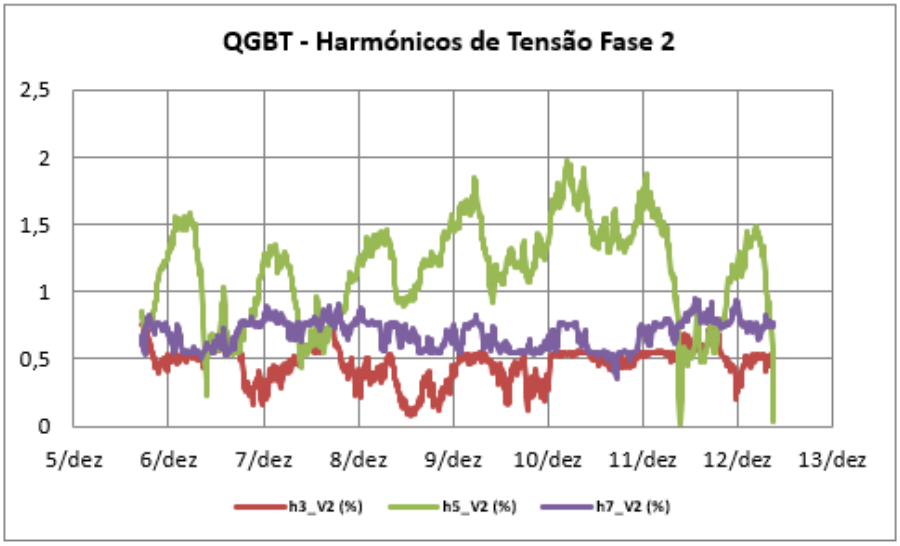


Figura 9.61: Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 2

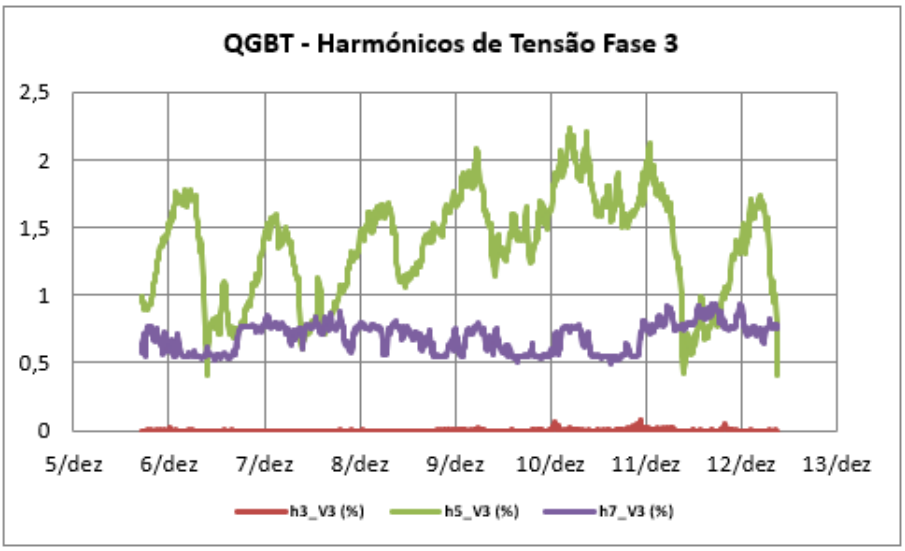


Figura 9.62: Harmónicos de tensão no QGBT - Fase 3

Analisando os gráficos relativos aos harmónicos de tensão no QGBT, é possível verificar que todos os harmónicos de diferente ordem apresentam valores médios máximos, dentro dos limites, sendo que o valor mais alto registado foi de 2,23%, para o harmónico de ordem 5 na fase 3.

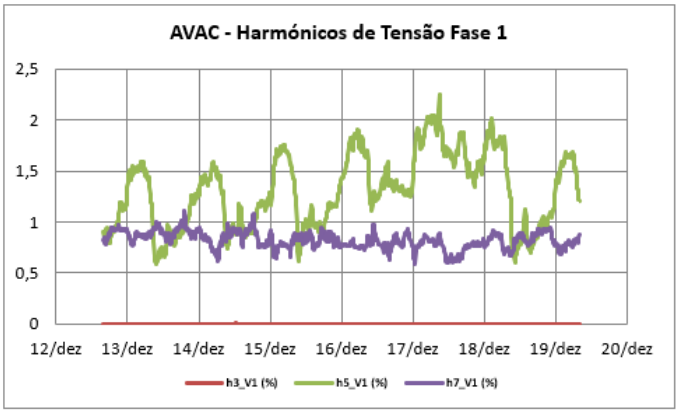


Figura 9.63: Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 1

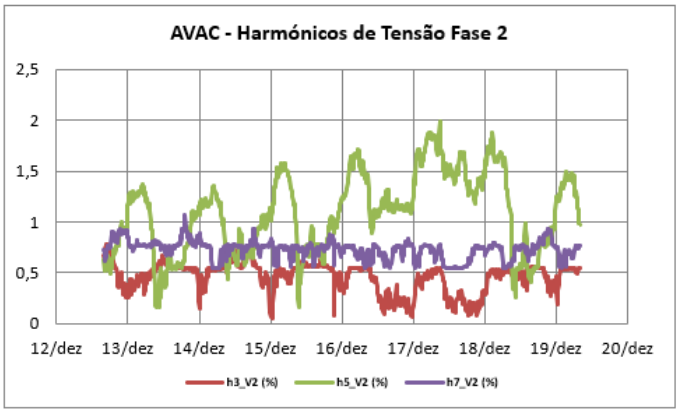


Figura 9.64: Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 2

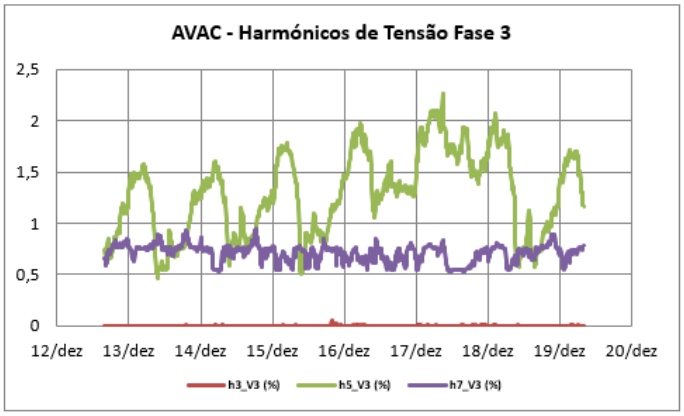


Figura 9.65: Harmónicos de tensão no quadro de AVAC - Fase 3

Os limites de harmónicos no quadro de AVAC nas 3 fases também são respeitados, sendo que o valor mais alto registado foi de 2,27% na fase 3, para o harmónico de ordem 5.

A THD de tensão deve ser inferior a 8% em 95% de todos os intervalos de 10 minutos considerados. Tal encontra-se definido pela norma NP/EN 50160.

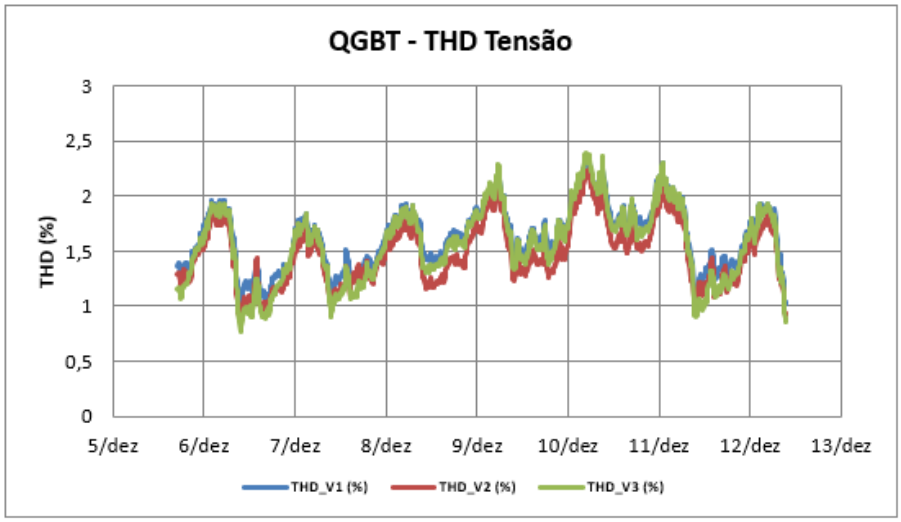


Figura 9.66: THD de tensão no QGBT

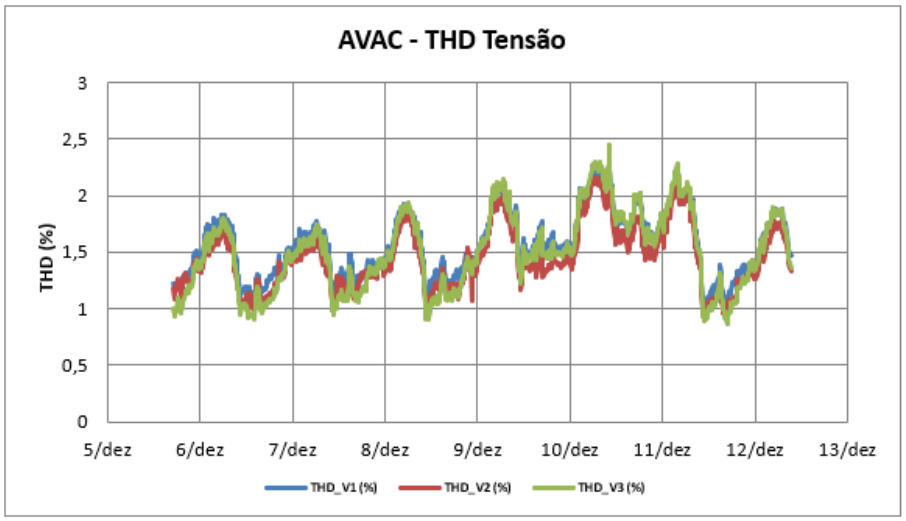


Figura 9.67: THD de tensão no quadro de AVAC

O valor máximo registado para o QGBT foi de 2,4 %, enquanto no quadro de AVAC se verificou 2,45 %. Como tal, todos os valores respeitam a norma.

9.6.5 Harmónicos de Corrente e Taxa de Distorção Harmónica de Corrente

Também os harmónicos de corrente e a THD da corrente possui valores limite, que estão patentes na tabela 9.76. Estes encontram-se definidos no IEEE standard 519-1992 [32].

Tabela 9.76: Limite das correntes harmónicas e da distorção harmónica [32]

I_{sc}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Importa esclarecer o significado de algumas grandezas que estão presentes na tabela:

- I_{SC}: corrente de cc;
- I_L: componente fundamental da corrente.

Pretende-se determinar o valor máximo da THD de corrente e dos harmónicos de corrente na EASR. Considerando que a potência de cc do posto de transformação que fornece a escola e a zona onde está inserida é de 350 MVA determina-se a corrente de cc:

$$I_{SC} = \frac{1000 \times 350\ MVA}{\sqrt{3} \times 15\ kV} = 13471,51\ kA \tag{9.52}$$

$$I_L = \frac{292,95\ kW}{fp \times \sqrt{3} \times 15\ kV} = 11,51\ A \tag{9.53}$$

$$I_L = \frac{I_{SC}}{I_L} = 1170,848\ kA \tag{9.54}$$

Tendo obtido o valor da componente fundamental da corrente, determina-se, consoante a tabela 9.76, os seguintes limites:

- valor máximo dos harmónicos de correntes de 3º, 5º e 7º ordem: 15%
- valor limite da THD de corrente: 20%

Observando os registos de harmónicos e da THD no QGBT das figuras 9.68 a 9.71 verifica-se os limites acima referidos não são respeitados.

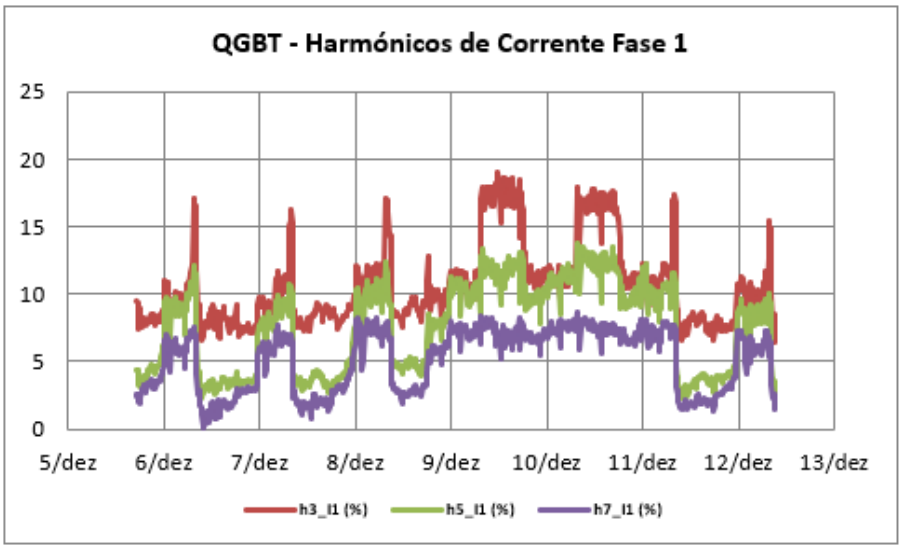


Figura 9.68: Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 1

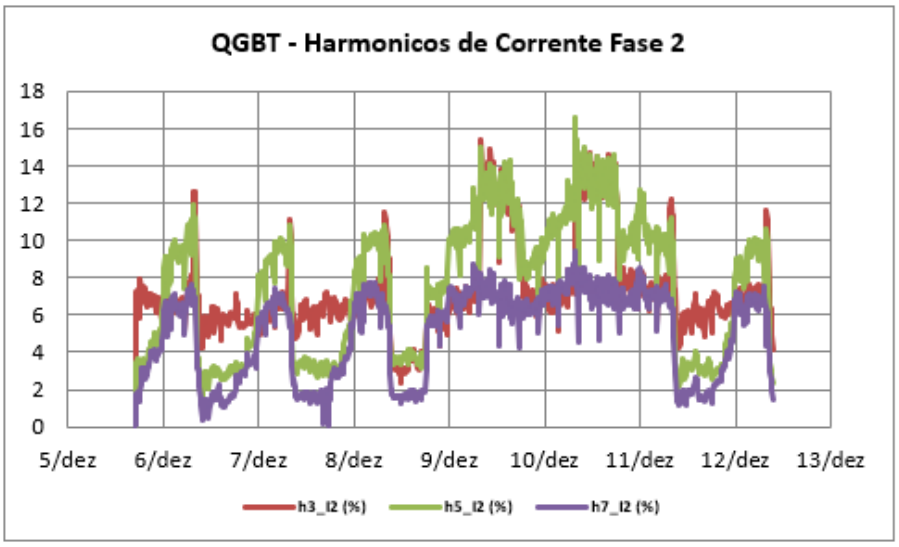


Figura 9.69: Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 2

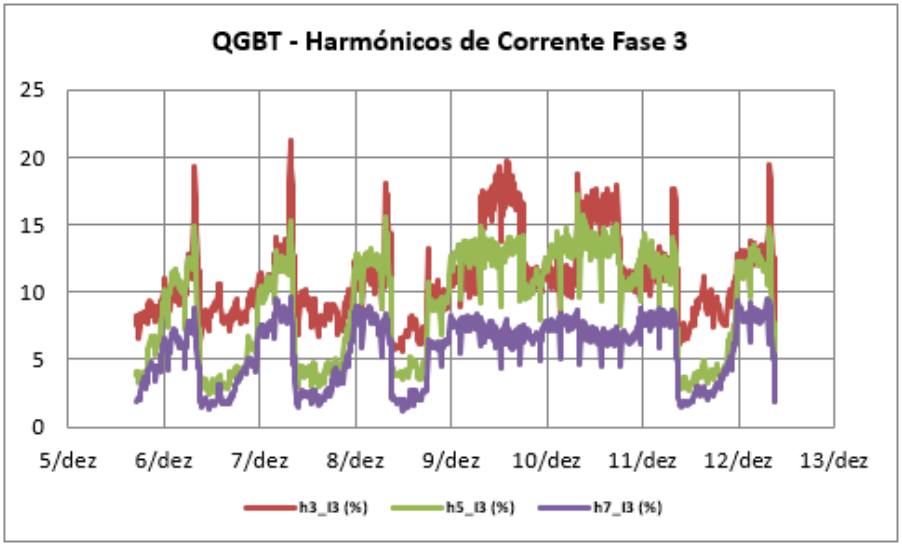


Figura 9.70: Harmónicos de Corrente no QGBT - Fase 3

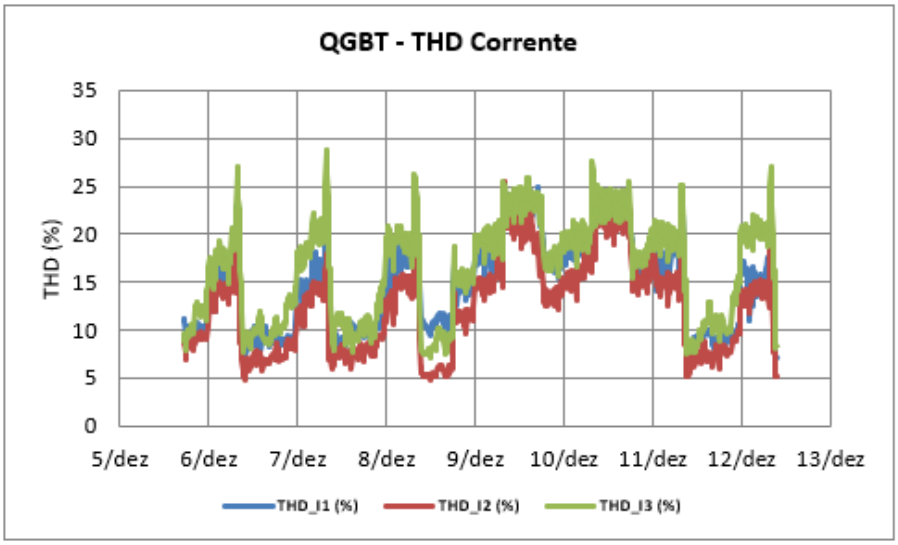


Figura 9.71: THD de Corrente no QGBT

9.6.5.1 Dimensionamento de um filtro de harmónicos

De modo a corrigir os valores de harmónicos de corrente e da THD de corrente propõe-se a utilização de um filtro de harmónicos, que terá de ser dimensionado para as características da instalação da EASR.

Assim:

$$I_1 = \frac{I_{max}}{1 + (THDi_i)^2} \tag{9.55}$$

$$I_D = I_1 \times (THDi_i - THDi_f) \tag{9.56}$$

Onde:

- I_{max}: corrente máxima registada;
- $THDi_i$: THD de corrente inicial a corrigir;
- $THDi_f$: THD de corrente final corrigida (20

Efetuando os cálculos necessários:

$$I_1 = \frac{369,4}{1+(0,2887)^2} = 340,98A \tag{9.57}$$

$$I_D = 340,98 \times (0,2887-0,20) = 19,69A \tag{9.58}$$

Propõe-se a instalação do filtro ECOsine Activa, da marca Cydesa, de referência FN 3420-30-400-4. Possui uma capacidade de 30 A e tem um custo de 22.784,00 €.

9.6.6 Fator de Potência

De forma a analisar o fator de potência da instalação da EASR, elaborou-se o gráfico da figura 9.72, tendo-se verificado uma variação entre os 0,87 e os 0,99 de fator de potência.

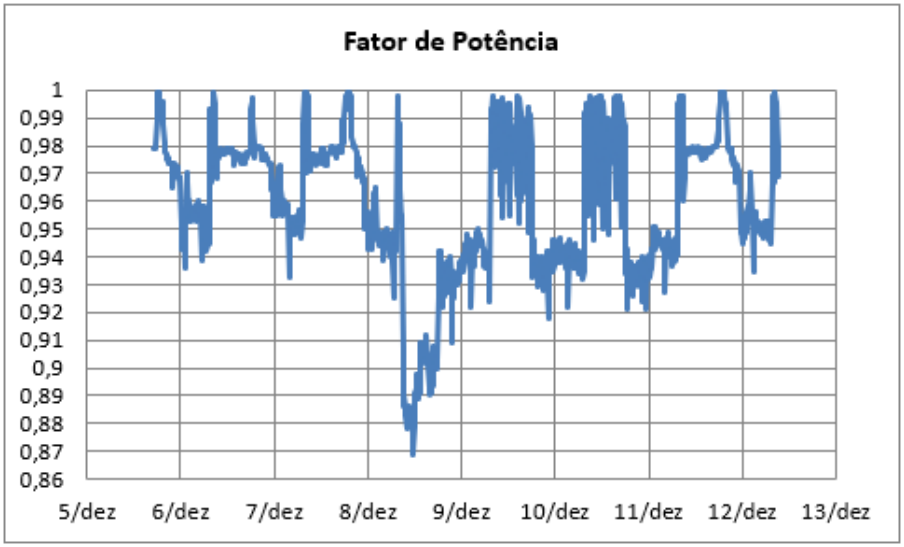


Figura 9.72: Fator de potência da instalação

Outro aspeto fundamental que deve ser analisado consiste no valor da tangente de phi (tan φ), uma vez que, esta dita a faturação de energia reativa. Trata-se do quociente entre a energia reativa e a energia ativa medidas no mesmo período. Caso o seu valor ultrapasse os 0,3, a energia reativa será faturada.

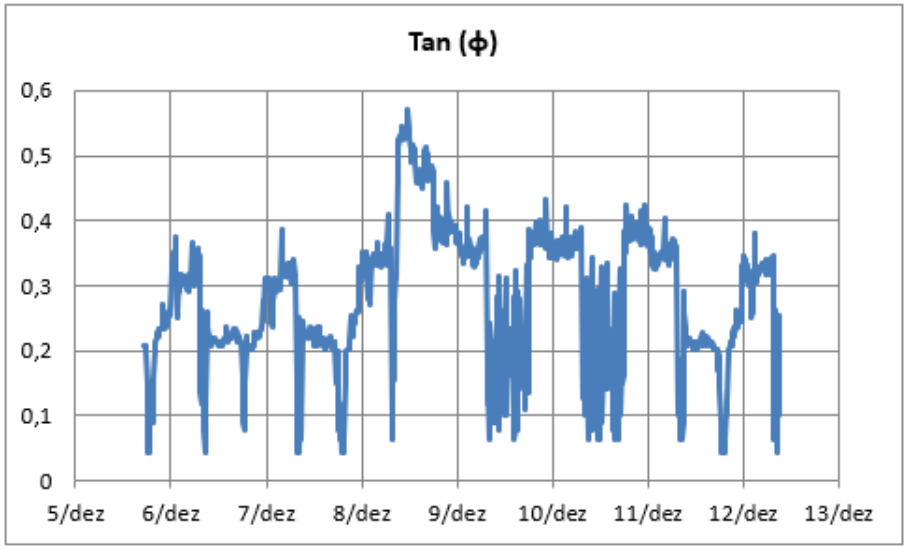


Figura 9.73: Tangente de φ da instalação

Analisando o gráfico da figura 9.73 observa-se que o valor limite de 0,3 é frequentemente ultrapassado, no período de analise. Para reduzir este fenómeno e evitar a faturação de energia reativa pode ser feito a compensação do fator de potência, pelo que se propõe a utilização de baterias de condensadores.

9.6.6.1 Correção de Fator de Potência

De modo a corrigir o fator de potência será proposto a instalação de uma bateria de condensadores. Procede-se então ao seu dimensionamento.

Para dar inicio ao dimensionamento será necessário obter s faturas de energia, dados que estão já disponíveis e analisados. Retira-se os valores da energia reativa indutiva faturada, nos diversos escalões e a energia ativa faturada em horas de ponta e cheia.

Tem-se que:

- Qi_{fat} (energia reativa indutiva faturada) = 3.324,08 kVAh;
- P_{fat} (energia ativa faturada em horas de ponta e cheia) = 19.301,49 kWh.

Obtém-se:

$$Q_{ind} = Qi_{fat} + P_{fat} \times \tan\varphi \tag{9.59}$$

$$Q_{ind} = Qi_{fat} + P_{fat} \times 0,3 \; = \; 9.114,53 \; kVAh \tag{9.60}$$

Determinando a tangente de phi:

$$\tan\varphi \;=\; \frac{Q_{ind}}{P_{fat}} \;=\; 0,47 \tag{9.61}$$

$$\cos\varphi \;=\; 0,904 \tag{9.62}$$

Calculando a potência capacitiva média mensal da instalação:

$$Q = P \times (\tan\varphi i - \tan\varphi f) \;=\; 50,45\ kVAr \tag{9.63}$$

Assim propõe-se a instalação da bateria de condensadores da marca Norcontrol, referência RAM 60/55 de 60 kVAr. Esta possui um custo de 1.270,00 €.

A energia reativa foi faturada no espaço de um ano em 183,59 €, sendo esta a poupança anual a considerar, uma vez que será um custo evitado. Assim, o tempo de retorno deste investimento é de 6,9 anos, sendo viável.

Capítulo 10

Conclusão

O estudo realizado nesta dissertação, com vista à melhoria da eficiência energética da EASR, possibilita a elaboração de um conjunto de propostas, que articuladas entre si, permitirão reduzir o consumo de energia e reduzir os custos associados. Assim, os diferentes campos analisados, devem ser agora integrados para melhor entender os benefícios da aplicação de medidas de gestão de energia e eficiência. Sem dúvida, o estudo económico de cada medida é fundamental, uma vez que muitas delas requerem um investimento inicial que terá de possuir um retorno aceitável. Importa realçar que a escola fez parte da fase 0 do plano de reabilitação da Parque Escolar, pelo que já se encontra dotada de uma eficiência bastante considerável. Sendo fundamental a constante otimização das condições de eficiência energética, o estudo realizado é, por demais, pertinente.

Hoje em dia, com a existência do ML é importante uma escolha cuidada e informada do comercializador de energia, de modo a reduzir ao máximo o valor da fatura mensal e anual. Neste estudo, concluiu-se que existe a possibilidade de reduzir em 4%, face ao valor atual, o montante da fatura anual da EASR. A mudança para o comercializador Energia Simples representa, assim, uma poupança de 2.572,70 €. Esta medida não apresenta custos, pois a mudança de comercializador não é taxada.

Outro campo importante para eficiência energética é a iluminação, tendo sido analisado o sistema instalado na EASR. Este é um estudo complexo, uma vez que existem diversos fatores a ter em conta, bem como um conjunto de regras e normas e cumprir. Será necessário adaptar o sistema de iluminação ao tipo de utilização de cada espaço aos seus períodos de utilização e, de modo a reduzir os consumos, potenciar a utilização de iluminação natural sempre que possível. Para a EASR chegou-se a uma solução de redução de potência das lâmpadas fluorescentes T5, nos espaços que excedem o valor de referencia para o nível de iluminação, tendo-se obtido um decréscimo de 10,62 kW. Tal medida, com um investimento de 1.354,67 €, proporciona uma redução do consumo de 25.807,22 kWh, representando uma poupança anual de 1.456,62 €. O tempo de retorno desta solução é inferior a um ano, sendo, por isso, viável.

Foram estudadas outras soluções para o sistema de iluminação que não se revelaram viáveis, nomeadamente a tecnologia LED, devido ao seu elevado investimento. Devido a esse facto, não ofereciam um tempo de retorno viável, apesar da redução de consumo conseguida ser muito consi-

derável. De referir que, com o aumento da utilização do sistema, um mesmo valor de investimento irá apresentar um retorno mais reduzido. Assim, conclui-se que o número de horas de utilização de cada espaço tipo da escola é um fator fundamental para o estudo.

Para aumentar a eficiência dos sistemas de iluminação deve ser estudada a aplicação de sistemas de gestão de iluminação. Tal, reduz a utilização de iluminação quando ela não é de facto necessária, quer por disponibilidade de iluminação natural, quer por ausência de pessoas nos espaços. Para a realidade da EASR, visto que já possui sensores de presença nas instalações sanitárias, conclui-se que apenas seria viável a instalação de equipamento de comando automático nos corredores de circulação. O equipamento proposto, trata-se de um detetor de luminosidade com capacidade de deteção de movimento, que representa um investimento de 892,00 €, cujo retorno é obtido, sensivelmente, em ano e meio. Esta medida diminui o consumo do sistema de iluminação nos corredores de circulação conduzindo a uma poupança anual de 584,00 €. Para que fosse possível a implementação de sistemas automáticos de controlo de iluminação, na generalidade dos espaços letivos e oficinais, seria necessário um estudo da alteração dos circuitos de iluminação, cuja extensão não permitiu a sua realização no período de elaboração do presente projeto. Conclui-se ainda, que a coordenação de medidas de gestão de iluminação, com a redução de potência das lâmpadas, é mais proveitosa do que a aplicação individual das medidas.

Para além da redução de consumo, uma maior independência energética do edifício contribuirá, também, para o aumento significativo da eficiência energética. Nessa perspetiva, elaborou-se o projeto do sistema FV apresentado. Foram estudados dois regimes de produção (UPAC e UPP), sendo que ambos se revelaram viáveis, com períodos de retorno muito próximos, dentro do mesmo ano. Sendo assim, seria vantajoso optar, quer por UPAC, quer por UPP. Uma vez que a segunda apresenta uma maior poupança efetiva ao fim de 25 anos (365.000,00 €), sugere-se a sua aplicação na EASR. De referir, ainda, que se obteve uma solução ótima mais positiva do que a solução já instalada no local.

O sistema de AVAC da EASR apresenta potencialidades de redução de consumos, apesar de possuir já o *chiller* desligado a maior parte do tempo. Consegue-se atingir uma redução de horas de funcionamento e, por conseguinte, do consumo, desligando periodicamente as UTA's e os ventiladores.

A qualidade de fornecimento de energia interfere crucialmente com os índices de eficiência energética, pelo que, a sua verificação é essencial, de modo a que as restantes medidas possam ser efetivas na melhoria da eficiência. Assim sendo, as conclusões retiradas quanto à qualidade de energia na EASR foram fundamentais. Após a análise realizada, com recurso a equipamento próprio (analisador de rede), identificou-se a necessidade de corrigir os harmónicos de corrente e a taxa de distorção harmónica da corrente (já que ultrapassam os limites definidos na norma). Tal, é possível, recorrendo a um filtro de harmónicos, representando um investimento de 22.784,00 €. O tempo de retorno desta medida é de difícil conclusão, uma vez que seria necessário identificar e caracterizar todos os equipamentos e cargas da instalação, que interferem e são afetadas. O estudo da qualidade de energia permitiu ainda verificar a necessidade de instalação de equipamento de compensação de fator de potência, de modo a evitar a faturação de energia reativa, uma vez que,

o valor da tangente de φ da EASR, ultrapassa frequentemente o valor de 0,3. Tal, permite reduzir um pouco mais a fatura energética, sendo que a EASR pagou 183,59 € de energia reativa, no período analisado (1 ano).

Após a implementação de todas as medidas, será necessário proceder à manutenção periódica de todos os equipamentos e soluções, de modo a manter um elevado nível de eficiência energética e maximizar o tempo de vida útil desses equipamentos da escola. A EASR conta com um Técnico Polivalente Residente (TPR) da Manvia, 3 dias por semana, que garante a manutenção das instalações.

Alerta-se ainda para o facto de ser necessário uma utilização eficiente, por parte dos utilizadores da escola, pelo que é premente a sua sensibilização para esta matéria.

Todas as soluções apresentadas tiveram em conta as regras técnicas, legislação vigente e indicações da Parque Escolar, bem como, as próprias características das instalações da EASR. Poderá, então afirmar-se que todas as medidas propostas se encontram enquadradas e adequadas à realidade da EASR.

10.1 Conjunto de Medidas de Eficiência Energética

Uma vez que a poupança final será obtida com a implementação de todas as medidas, apresentam-se os diferentes investimentos propostos, e as respetivas poupanças obtidas.

Tabela 10.1: Áreas de Intervenção e respetivas medidas propostas

Área de Intervenção	Medida
Tarifário	Alteração do Tarifário
Iluminação 1	Redução de Potência das lâmpadas T5
Iluminação 2	Sensores de luminosidade e presença nas circulações
Sistema FV	Sistema FV em regime UPP
AVAC	Redução de número de horas de funcionamento
Qualidade de Energia 1	Filtro de Harmónicos
Qualidade de Energia 2	Correção de Fator de Potência - bateria de condensadores

Tabela 10.2: Investimento, Poupança e Retorno de cada medida proposta

Área de Intervenção	Investimento (€)	Poupança anual (€)	Retorno (anos)
Tarifário	0	2.572,70	-
Iluminação 1	1.354,67	1.456,62	0,93
Iluminação 2	892,00	584,40	1,53
Sistema FV	80.313,67	14.600,00	7
AVAC	0	Não determinado	-
Qualidade de Energia 1	22.784,00	Não determinado	-
Qualidade de Energia 2	1.270,00	183,59	6,9

Através da análise das medidas apresentadas e das suas respetivas poupanças e tempos de retorno, conclui-se que foi possível atingir os objetivos propostos para esta dissertação, na medida em que, se apresentam soluções concretas e viáveis para melhorar a eficiência energética da EASR.

10.2 Trabalhos Futuros

Terminada esta dissertação, tendo sido atingidos os objetivos com a propostas de medidas específicas de eficiência energética para a EASR, e tendo-se retirado as devidas conclusões, verificaram-se algumas áreas a explorar em trabalhos futuros, tais como:

- Estudo da Implementação de um micro-gerador eólico;
- Análise de diferentes equipamentos e sua influência específica no consumo de energia;
- Alteração dos circuitos de iluminação, para possibilitar a instalação de sistemas de gestão de iluminação, na generalidade dos espaços da escola.

Anexo A

Constituição da EASR

A.1 Bloco A

Tabela A.1: Bloco A, Piso -1

Bloco A – Piso -1		
Referência	Designação	Área (m2)
a-101	PRM	6,44
a-102	Circulação	45,255
a-103	Central de bombagem e cisterna	19,93
a-104	Posto de transformação	14,96
a-105	Sala de Quadros	11,956
a-106	Grupo eletrogénio	25,7
	Posto de seccionamento	5,0891

Tabela A.2: Bloco A, Piso 0

Bloco A – Piso 0		
Referência	Designação	Área (m2)
a-001	Átrio galeria/museu	28,72
a-002	Circulação	63,0743
a-003	Circulação	65,75
a-004	Espera	15,4
a-005	Circulação	5,4021
a-006	Circulação	15,1567
a-007	Circulação	11,5465
a-008	Antecâmara	6,41
a-009	Circulação	
a-010	Instalações Sanitárias	3,6986
a-011	Instalações Sanitárias -feminino	24,6314
a-012	Instalações Sanitárias - masculino	24,6414
a-013	Vestiário masculino	12,3119
a-014	Vestiário feminino	10,654
a-015	Vestiário/Balneário	22,9703
a-016	Vestiário/Balneário	20,0008
a-017	Vestiário professores	32,9641
a-018	Arquivo actual	23,71
a-019	Cofre	3,1229
a-020	Arrumo	11,2588
a-021	Gabinete administração	10,4475
a-022	Gab. cargos diretivos e administrativos	11,99
a-023	Gabinete presidente	13,3515
a-024	Gabinete direção	26,7934
a-025	Gabinete TIC	24,48
a-026	Associação de pais	24,4114
a-027	Gab. atendimento encarregado educ.	11,8893
a-028	Gab. atendimento encarregado educ.	11,8893
a-029	Gab. atendimento encarregado educ.	14,2895
a-030	Sala ensino recorrente	11,5897
a-031	Sala atendimento	5,8966
a-032	Rede informática servidor	25,33
a-033	Laboratório informática	35,02
a-034	Sala de Reuniões	26,1038
a-035	Sala de Reuniões	26,1038
a-036	Sala de trabalho de DT	54,3121
a-037	Sala de encarregado pessoal	10,3479
a-038	Secretaria	87,1895
a-039	Loja/Papelaria	52,53
a-040	Sala convívio	23,8415
a-041	Sala de convívio professores	78,424
ab-001	Circulação	13,4185
ab-002	Circulação	13,4185
b-007	Circulação	20,4965
b-008	Circulação	27,6779

Tabela A.3: Bloco A, Piso 1

Bloco A – Piso 1		
Referência	Designação	Área (m2)
a-101	Galeria / Museu	152,9
a-102	Circulação	137,2
a-103	Circulação	98,2
a-105	i.s. femininas	24,6
a-106	i.s. masculinas	24,6
a-107	Sala modelos	25,1
a-108	Gabinete design produção	26,1
a-109	Gabinete comunicação audiovisuais	25,1
a-110	Gabinete desenho livre	27,5
a-111	Sala de aula	53
a-112	Sala de aula	53
a-113	Sala de aula	53,8
a-114	Sala de aula	53,8
a-115	Sala de aula	51,7
a-116	Sala desenho com estiradores	110,1
a-117	Sala de Projeto	80,2
a-118	Sala desenho com estiradores	110.8
a-119	Sala de Projeto	79,2
a-120	Sala desenho com estiradores	108,9
a-121	Sala desenho com cavaletes	128,2
ab-101	Circulação	
ab-102	Circulação	
b-104	Circulação	25,3
b-105	Circulação	32,6

Tabela A.4: Bloco A, Piso 2

Bloco A – Piso 2		
Referência	Designação	Área (m2)
a-201	Galeria / Museu	152,9
a-202	Circulação	140,9
a-203	Circulação	100
a-207	Gabinete produção artística	25,6
a-208	Gabinete design comunicação	25
a-210	Sala de aula	52,9
a-211	Sala de aula	53,4
a-212	Sala de aula	51,2
a-213	Laboratório de física	81
a-214	Geometria	80,1
a-215	Sala de aula	53,4
a-216	Geometria	81,2
a-217	Geometria	81,6
a-218	Geometria	78,2
a-219	Sala de desenho com estiradores	108,8
a-220	Sala de desenho cavaletes	128
a-221	Laboratório de Química	79,8
a-222	Sala de preparação	26,5
a-223	Zona impressão	24,8
ab-201	Circulação	
ab-202	Circulação	
b-204	Circulação	25,3
b-205	Circulação	33,9

Tabela A.5: Bloco A, Piso 3

Bloco A – Piso 3		
Referência	Designação	Área (m2)
a-301	Circulação	79,2409
a-302	Circulação	65,5489
a-303	Espera	6,8711
a-304	Antecâmara	2,5734
a-305	Arrumo	25
a-306	instalações sanitarias professores	5,4791
a-307	instalações sanitarias professores	7,1019
a-308	Arquivo	173,687
a-309	Gabinete ensino especial	9,9005
a-310	Gabinete Psicologia	18,3192
a-311	Gabinete projeto 10º ano	36,9864
a-312	Gabinete matemática	36,9864
a-313	Gabnete inglês/ português / francês	53.8598
a-314	Gabinete desenho rigoroso	55,6323
a-315	Gabinete história artes	35,8752
a-316	Gabinete Filosofia	18,4586
a-317	Sala de aula	61,9165
a-318	Sala de aula	61,9165
a-319	Sala de aula	61,9165
a-320	Sala de aula	61,9165
a-321	Sala de aula	61,9165
a-322	Sala de aula	61,9165
a-323	Sala de aula	61,9165
a-324	Circulação Exterior	36,0882
ab-301	Circulação	41,887
ab-302	Circulação	36,2636

A.2 Bloco B

Tabela A.6: Bloco B, Piso 0

Bloco B – Piso 0		
Referência	Designação	Área (m2)
b-001	Circulação	146,2427
b-002	Circulação	73,945
b-003	Circulação	87,4768
b-004	Circulação	36,7262
b-005	Circulação	5,4366
b-006	Circulação	19,4253
b-009	Arrumo	8,9717
b-010	Arrumo	12,9038
b-011	Arrecadação (madeira)	20,7191
b-012	Arrecadação (metais)	38,1396
b-013	Gabinete biblioteca	10,8909
b-014	Gabinete madeira/metais/polímeros	17,8679
b-015	Sala de aula pós-produção	35,2013
b-016	Ilha pos-produção	7,0207
b-017	Ilha pos-produção 2	8,0653
b-018	Ilha pos-produção 3	5,8133
b-019	Ilha pos-produção 4	6,8735
b-020	estúdio vídeo	109,1097
b-021	estúdio fotografia e som	74,775
b-022	Serigrafia	123,4741
b-023	Fotomecânica	61,3556
b-024	Offet	157,7219
b-025	Gravura	52,9426
b-026	Madeira	170,0158
b-027	Metais	170,0158
b-028	Cerâmica	200,2557
b-029	Centro recursos	38,6238
b-030	Biblioteca	110,5433
b-031	anfiteatro (50)	54,3035
b-032	Casa máquinas	4,2921
b-033	Regie	18,6938
b-034	Make Up/Camarins	24,5895

Tabela A.7: Bloco B, Piso 1

Bloco B – Piso 1		
Referência	Designação	Área (m2)
b-101	Circulação	39,8313
b-102	Circulação	98,8674
b-103	Circulação	41,8059
b-106	Circulação	7,842
b-107	Arrumos	15,3112
b-108	Pátio Exterior	47,3439
b-109	Estúdio de Fotografia	9,9198
b-110	Laboratório coletivo	60,9807
b-111	Laboratório individual	22,0433
b-112	Laboratório de pelicula	13,3737
b-113	Sala de montagem	17,5811
b-114	Sala Projeto	97,077
b-115	Sala Projeto	97,077
b-116	Polimeros	128,1986
b-117	Joalharia 1	128,4329
b-118	Cerâmica 1	133,5
b-119	Joalharia 2	48,3526
b-120	Cerâmica 2	78,7885
b-121	Biblioteca	197,4297
b-122	Cabine de voice off ou ilha de trabalho	6,955
b-123	Regie	20,247
b-124	Casa das máquinas	4,9123
b-125	Ilha	2,7756
b-126	Arrumo	28,2917

Tabela A.8: Bloco B, Piso 2

Bloco B – Piso 2		
Referência	Designação	Área (m2)
b-201	Circulação	87,3
b-202	Circulação	105,4
b-203	Circulação	24,4
b-206	i.s feminino	18,5
b-207	i.s. deficientes	4,4
b-208	i.s.masculino	18,7
b-209	Arrumos	19,1
b-210	Sala multimédia	51,6
b-211	Sala multimédia	37,2
b-212	Sala multimédia	41,7
b-213	Sala multimédia	50,6
b-214	Sala multimédia	55,5
b-215	Sala multimédia	105,7
b-216	Sala Projeto	97,3
b-217	Sala Projeto	97,3
b-218	Sala Projeto	129,6
b-219	Sala Projeto	129,6
b-220	Sala desenho cavaletes	86,5
b-221	RPE	95,6
b-222	Figurinos e Confecção	28,2
b-223	Tapeçaria	63,4
b-224	Tecelagem	62,3
b-225	Estamparia	82,9
b-226	Tinturaria	35,1
b-227	Zona impressão	28,9
b-228	Câmara gravação	6,9
b-229	Câmara revelação	6,8

A.3 Bloco C

Tabela A.9: Bloco C, Piso -1

Bloco C – Piso -1		
Referência	Designação	Área (m2)
c–101	circulação	24,3
c–102	Arrumos dos estúdios e da sala polivalente	93,5

Tabela A.10: Bloco C, Piso 0

Bloco C – Piso 0		
Referência	Designação	Área (m2)
c-001	Circulação	197,2
c-002	Circulação	47
c-003	Área técnica	53,8
c-004	i.s. feminino	19,3
c-005	i.s. masculino	17,3
c-006	i.s. deficientes	4,7
c-007	i.s. antecâmara	6,1
c-008	Associação alunos	33,8
c-009	Sala Polivente com auditório para 200 pessoas	308,9

Tabela A.11: Bloco C, Piso 1

Bloco C – Piso 1		
Referência	Designação	Área (m2)
c-101	Circulação	23,7
c-102	arrumos	16,3
c-103	central térmica/caldeira	37,7
c-104	Régie	21,8
c-105	Casa das maquinas	4,3

A.4 Bloco D

Tabela A.12: Bloco D, Piso 0

Bloco D – Piso 0		
Referência	Designação	Área (m2)
d-001	Circulação	53,7411
d-002	Circulação	
d-003	Circulação	10,8122
d-004	Zona técnica	5,4275
d-005	Oficina de manutenção	41,3108
d-006	Arrecadação geral	19,285
d-007	Despensa	17,525
d-008	Sala pessoal da cozinha	4,9439
d-009	i.s.	4,9032
d-010	Copa	11,02
d-011	Cozinha	31,0536
d-012	Restaurante	6,165
d-013	Bar	3,1673
d-014	Cafetaria / Refeitório	178,9738
d-015	Atendimento Médico/Posto socorro	20,7339

Tabela A.13: Bloco D, Piso 1

Bloco D – Piso 1		
Referência	Designação	Área (m2)
d-101	Circulação	29,7513
d-102	Circulação	
d-103	Átrio / Circulação	30,1763
d-104	Circulação	
d-105	balneário	28,9094
d-106	balneário	28,9094
d-107	i.s. masculino	11,827
d-108	i.s. feminino	13,8541
d-109	Vestiário Professores	6,1037
d-110	Vestiário Professores	6,1037
d-111	Gabinete Professor	21,1687
d-112	Ginásio	293,7281

Tabela A.14: Bloco D, Piso 2

Bloco D – Piso 2		
Referência	Designação	Área (m2)
d-201	Circulação	20
d-202	Arrumos Ginásio	11
d-203	Bancada	60,1

Anexo B

Anexo B

Tabela B.1: Tarifa Transitória de Venda a Clientes Finais em 2017 [63]

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT			**PREÇOS**	
Termo tarifário fixo			(€/mês)	(€/mês)
			47,84	1,5730
Potência			(€/kW.mês)	(€/kW.mês)
Tarifa de longas utilizações		Horas de ponta	10,280	0,3380
		Contratada	1,570	0,0516
Tarifa de médias utilizações		Horas de ponta	10,360	0,3406
		Contratada	1,478	0,0486
Tarifa de curtas utilizações		Horas de ponta	15,203	0,4998
		Contratada	0,635	0,0209
Energia ativa			(€/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1384	
		Horas cheias	0,1087	
		Horas de vazio normal	0,0767	
		Horas de super vazio	0,0654	
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1414	
		Horas cheias	0,1109	
		Horas de vazio normal	0,0793	
		Horas de super vazio	0,0729	
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1446	
		Horas cheias	0,1121	
		Horas de vazio normal	0,0779	
		Horas de super vazio	0,0665	
	Períodos,II, III	Horas de ponta	0,1505	
		Horas cheias	0,1122	
		Horas de vazio normal	0,0818	
		Horas de super vazio	0,0729	
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2163	
		Horas cheias	0,1206	
		Horas de vazio normal	0,0819	
		Horas de super vazio	0,0730	
	Períodos,II, III	Horas de ponta	0,2159	
		Horas cheias	0,1205	
		Horas de vazio normal	0,0825	
		Horas,de super vazio	0,0768	
Energia Reativa			(€/kvarh)	
		Indutiva	0,0290	
		Capacitiva	0,0218	

B.1 Cálculo de Tarifários

B.1.1 EDP SU

Tabela B.2: Tarifa de Curtas Utilizações

Tarifa de Curtas Utilizações					
Energia ativa	Períodos I e IV				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,2163	0,1206	0,0819	0,073
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	11966,358	15707,657	2788,0201	1512,814
	Períodos II e III				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,2159	0,1205	0,0825	0,0768
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	7357,6259	12382,864	2733,7291	1545,7559
	Total Parcial	19.323,98 €	28.090,52 €	5.521,75 €	3.058,57 €
Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	15,203		0,635	
	€/dia	0,4998		0,0209	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	17.033,26 €		2.228,85 €	
Termo tarifário Fixo	€/mês	47,84			
	meses	12			
	Total Parcial	574,08 €			
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		75.831,12 €			
IVA 23%		17.441,16 €			
Total da Fatura com IVA		93.272,28 €			

Tabela B.3: Tarifa de Médias Utilizações

Tarifa de Médias Utilizações					
Energia ativa	Períodos I e IV				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,1446	0,1121	0,0779	0,0665
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	7999,7015	14600,567	2651,8531	1378,1114
	Períodos II e III				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,1505	0,1122	0,0818	0,0729
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	5128,8684	11529,937	2710,5338	1467,2605
	Total Parcial	13.128,57 €	26.130,50 €	5.362,39 €	2.845,37 €
Termos de Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	10,36		1,478	
	€/dia	0,3406		0,0486	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	11.607,22 €		5.187,78 €	
Termo tarifário Fixo	€/mês	47,84			
	meses	12			
	Total Parcial	574,08 €			
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		64.836,02 €			
IVA 23%		14.912,28 €			
Total da Fatura com IVA		79.748,31 €			

Tabela B.4: Tarifa de Longas Utilizações

Tarifa de Longas Utilizações					
Energia ativa	Períodos I e IV				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,1384	0,1087	0,0767	0,0654
	kWh	55322,97	130245,91	34041,76	20723,48
	Total	7656,699	14157,73	2611,003	1355,3156
	Períodos II e III				
		Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	Valor Unitário (€)	0,1414	0,1109	0,0793	0,0729
	kWh	34078,86	102762,36	33136,11	20127,03
	Total	4818,7508	11396,346	2627,6935	1467,2605
	Total Parcial	12.475,45 €	25.554,08 €	5.238,70 €	2.822,58 €
Potência		de Horas de Ponta		Contratada	
	€/mês	10,28		1,57	
	€/dia	0,338		0,0516	
	kW	1120,388		292,5	
	meses	12		12	
	Total Parcial	11.517,59 €		5.510,70 €	
Termo tarifário Fixo	€/mês	47,84			
	meses	12			
	Total Parcial	574,08 €			
Energia reativa Fornecida no Vazio	€/mês	0,0218			
	kW	5			
	Total Parcial	0,11 €			
Total da Fatura sem IVA		63.693,28 €			
IVA 23%		14.649,45 €			
Total da Fatura com IVA		78.342,73 €			

B.1.2 Tarifário Atual

Tabela B.5: Tarifa atual da EASR

EDP Atual							
Energia ativa	Ano			Horas P	Horas C	Horas VN	Horas SV
	2016		Valor Unitário (€)	0,0654	0,0629	0,0524	0,0519
			kWh	31400,82	80778,73	25086,53	14497,16
			Total	2.053,61 €	5.080,98 €	1.314,53 €	752,40 €
	2017		Valor Unitário (€)	0,0675	0,0639	0,0478	0,0471
			kWh	58001,01	152229,54	42091,34	26353,35
			Total	3.915,07 €	9.727,47 €	2.011,97 €	1.241,24 €
	Total Parcial			26.097,28 €			
Redes	Ano	Periodo		Redes P	Redes C	Redes VN	Redes SV
	2016	III	Valor Unitário (€)	0,047	0,0406	0,0224	0,0219
			kWh	19024,3	6458,1	3964,79	6050,74
			Total	894,14 €	262,20 €	88,81 €	132,51 €
		IV	Valor Unitário (€)	0,0473	0,0409	0,0225	0,0217
			kWh	61754,43	24942,72	10532,37	19035,79
			Total	2.920,98 €	1.020,16 €	236,98 €	413,08 €
	2017	I	Valor Unitário (€)	0,0463	0,0401	0,0221	0,0212
			kWh	68491,48	30380,25	10191,11	15005,97
			Total	3.171,16 €	1.218,25 €	225,22 €	318,13 €
		II e III	Valor Unitário (€)	0,046	0,0398	0,022	0,0214
			kWh	83738,06	27620,76	16162,24	27085,37
			Total	3.851,95 €	1.099,31 €	355,57 €	579,63 €
				Potência Horas P		Potência Contratada	
	2016	III e IV	€/mês	6,790677419		0,961241935	
			€/dia	0,222645161		0,031516129	
			kW	218,9027		292,95	
			Total	1.486,50 €		563,19 €	
		IV	€/mês	6,90215		0,976	
			€/dia	0,2263		0,032	
			kW	169,5405		292,95	
			Total	1.170,19 €		571,84 €	
	2017	I, II e III	€/mês	8,05505		1,21085	
			€/dia	0,2641		0,0397	
			kW	731,9448		292,95	
			Total	5.866,56 €		2.826,12 €	
	Total Parcial			28.424,50 €			
Energia reativa				2016		2017	
	Fornecida no Vazio		Valor Unitário (€)	0,0208		0,0218	
			kVArh	4,07		0,93	
			Total	0,08 €		0,02 €	
	Total Parcial			0,10 €			
Total da Fatura			Sem IVA	54.521,88 €			
			IVA 23%	12.540,03 €			
			Com IVA	**67.137,97 €**			

Anexo C

Sistema de Iluminação

DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILUMIN. (LUX)	UGR
SALA DE AULA NORMAL	CLASSROOM / 6.2.1	300	19
QUADRO DO PROFESSOR	BLACK BOARD / 6.2.4	500	19
SALA DE AULA NORMAL COM UTILIZAÇÃO NOCTURNA E PARA FORMAÇÃO DE ADULTOS	CLASSROOM FOR EVENING CLASSES AND ADULTS EDUCATION / 6.2.2	500	19
SALA DE AULA TIC	COMPUTER PRACTICE ROOMS / 6.2.13	300	19
SALA DE DESENHO NORMAL	ART ROOMS / 6.2.6	500	19
SALA DE DESENHO TÉCNICO	TECHNICAL DRAWING ROOMS / 6.2.8	750	16
SALAS DE ARTES NUMA ESCOLA DE ARTES	ART ROOMS IN ART SCHOOLS / 6.2.7	750	19
OFICINA E LABORATÓRIO (FÍSICA, QUÍMICA, LÍNGUAS, ETC.)	PRATICAL ROOMS AND LABORATORIES / 6.2.9	500	19
SALA DE PREPARAÇÃO DO LABORATÓRIO	PREPARATION ROOMS AND WORKSHOPS / 6.2.15	500	22
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA	-	(1) 500	19
ESTÚDIO DE MULTIMÉDIA	-	(2) 300	19
SALAS DE APOIO AOS ESTUDANTES SEM A PRESENÇA DE DOCENTES	-	(2) 300	19
ÁREA DESTINADA A TRABALHO DE DOCENTES	-	(1) 500	19
ÁREAS DESTINADAS AO ENSINO-APRENDIZAGEM INFORMAL	-	(3) 300	19
ÁREA DE ACTIVIDADES LECTIVAS COMPLEMENTARES ("CLUBES") E A EXIBIÇÃO DE TRABALHOS / CONTEÚDOS DIDÁCTICOS	STUDENT COMMOM ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 6.2.19	200	22
ÁREAS ADMINISTRATIVAS, GABINETES DE ATENDIMENTOS OU NÃO, SALAS DE REUNIÕES	WRITING, TYPING, READING, DATA PROCESSING / 3.2	500	19
GABINETE DE PSICOLOGIA; POSTO DE PRIMEIROS SOCORROS	ROOMS FOR MEDICAL ATTENTION / 1.2.6	500	19
REPROGRAFIA	FILING, COPYIN, ETC. / 3.1	300	19
BIBLIOTECA / ZONA DE PRATELEIRAS	BOOKSHELVES / 6.2.21	200	19
BIBLIOTECA / ZONA DE LEITURA	READING ÁREAS / 6.2.22	500	19
ESPAÇO POLIVALENTE	-	(4) 500	19
AUDITORIO	CONFERENCE AND MEETING ROOMS / 3.5	(4) 500	19
SALA DE EXPOSIÇÕES / ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS	-	(4) 500	19
GINÁSIO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	300	22
POLIDESPORTIVO COBERTO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	EN 12193	-

Figura C.1: Tabela do nível de iluminação nos espaços das Escolas - Parte 1

DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILUMIN. (LUX)	UGR
BALNEÁRIOS E CASAS DE BANHO	CLOAKROOMS, WASHROOMS, BATHROOMS, TOILETS / 1.2.4	200	25
ENTRADA / RECEPÇÃO	ENTRANCE HALLS / 6.2.16	200	22
ZONAS DE CIRCULAÇÃO, CORREDORES	CIRCULATION AREAS, CORREDORS / 6.2.17	100	25
ESCADAS	STAIRS / 6.2.18	150	25
LOJA DE CONVENIÊNCIA DO ESTUDANTE	SALES AREA / 4.1	300	22
ÁREAS SOCIAIS E DE CONVÍVIO	STUDENT COMMOM ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 6.2.19	200	22
ARRECADAÇÕES	STOCK ROOMS FOR TEACHING MATERIALS / 6.2.23	100	25
ARQUIVO	ARCHIVES / 3.7	200	25
REFEITÓRIO E CAFETARIA	SCHOOL CANTEENS / 6.2.25	200	22
COZINHA	KITCHEN / 6.2.26	500	22

(1) Espaço funcional com necessidade de leitura, pelo que se consideram os mesmos requisitos do nível de iluminação de uma sala de aula com utilização nocturna, uma vez que se desconhece a sua localização, forma, geometria, orientação solar, bem como o período de utilização.

(2) Espaço funcional com requisitos de iluminação semelhantes a uma sala TIC.

(3) Pelo uso cada vez mais frequente de computadores portáteis, considerou-se o mesmo nível de iluminação de uma sala TIC.

(4) Devido às várias possibilidades de utilização deste espaço, deverá haver mais do que um nível de iluminação (ex: iluminação para projecção, entre outras), cabendo ao Arquitecto conjuntamente com o projectista a definição dos níveis de iluminação, os quais deverão ser aprovados pela PE.

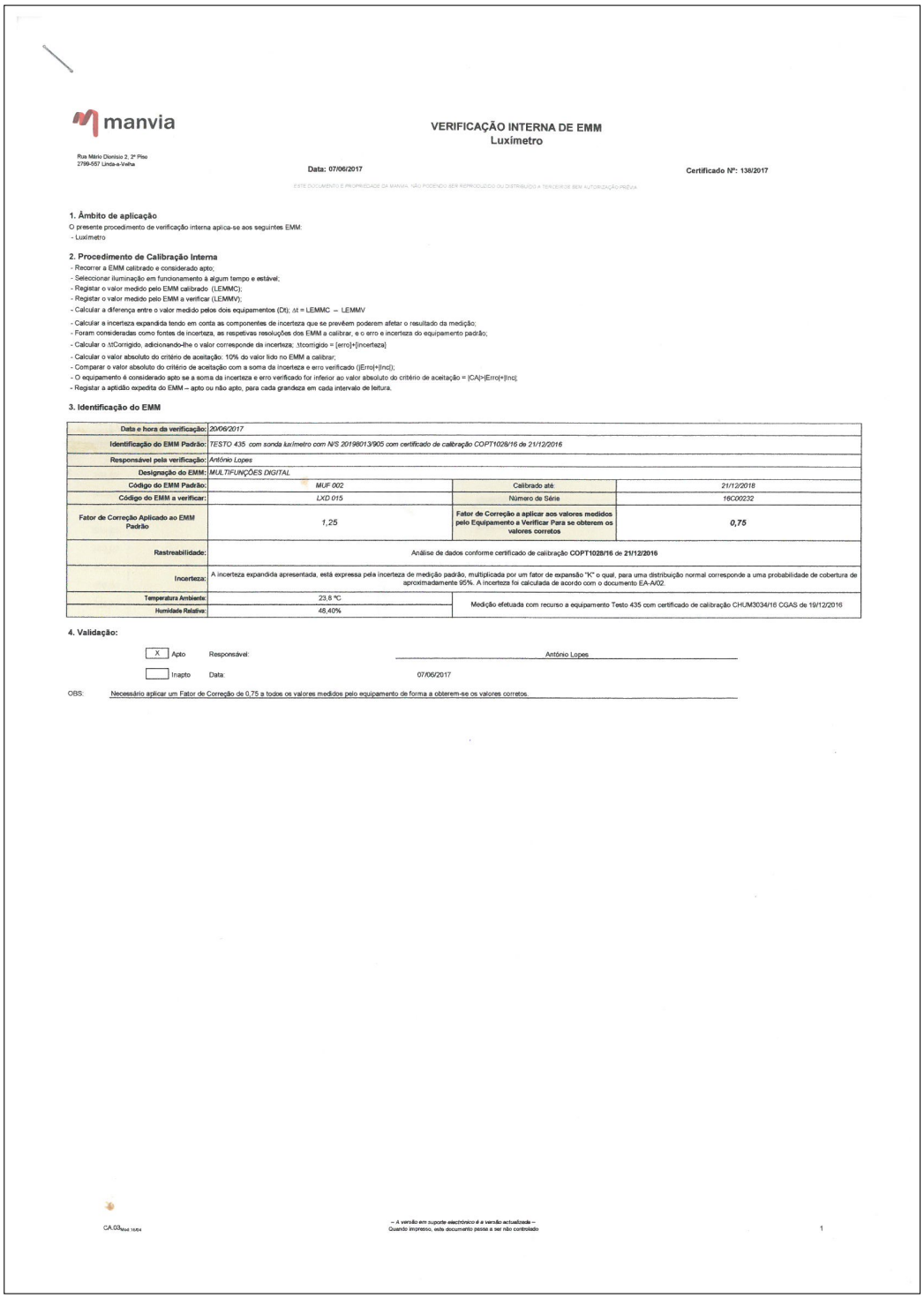
O cálculo luminotécnico de todos os espaços de ensino (salas de aula, salas TIC, laboratórios, etc.), quer tenham utilização nocturna ou não, deverá ser realizado com base nos seguintes critérios:

- utilização de software transversal às marcas dos fabricantes (Dialux ou Relux);
- 500 lux, valor médio (todo o espaço em estudo);
- depreciação de 20%;
- plano de trabalho a 80 cm;
- a zona de cálculo para efeitos de uniformidade (preferencialmente superior a 0,5 – valor mínimo/valor máximo), deverá excluir uma moldura de 40 cm em torno de toda a sala;
- valores de reflexão de referência: 70% no tecto, 50 % nas paredes e 20% no pavimento (estes valores de reflexão poderão ser alterados conjuntamente com a arquitectura, com a aprovação prévia da Parque Escolar);
- deverá considerar-se igualmente a posição das luminárias perpendicularmente à parede do quadro do professor;
- deverão considerar-se os valores de fluxo luminoso nominal das lâmpadas, para uma temperatura de 25°C, de acordo com a norma EN 60081.

NOTA 1: A redução/aumento do nível de iluminação nos espaços de ensino será efectuada por substituição da lâmpada.

Figura C.2: Tabela do nível de iluminação nos espaços das Escolas - Parte 2

C.1 Luxímetro



manvia

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

VERIFICAÇÃO INTERNA DE EMM
Luxímetro

Data: 07/06/2017 **Certificado Nº: 138/2017**

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 prevêem 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 ΔtCorrigido, adicionando-lhe o valor corresponde 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|+|Inc|);
- O equipamento é considerado apto se a soma da incerteza e erro verificado for inferior ao valor absoluto do critério de aceitação = |CA|>|Erro|+|Inc|;
- 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:	*20/06/2017*		
Identificação do EMM Padrão:	*TESTO 435 com sonda luxímetro com N/S 2019801 3/905 com certificado de calibração COPT1028/16 de 21/12/2016*		
Responsável pela verificação:	*António Lopes*		
Designação do EMM:	*MULTIFUNÇÕES DIGITAL*		
Código do EMM Padrão:	*MUF 002*	Calibrado até:	*21/12/2018*
Código do EMM a verificar:	*LXD 015*	Número de Série	*16C00232*
Fator de Correção Aplicado ao EMM Padrão	*1,25*	**Fator de Correção a aplicar aos valores medidos pelo Equipamento a Verificar Para se obterem os valores corretos**	***0,75***
Rastreabilidade:	Análise de dados conforme certificado de calibração **COPT1028/16** de **21/12/2016**		
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-A/02.		
Temperatura Ambiente:	23,8 ºC	Medição efetuada com recurso a equipamento Testo 435 com certificado de calibração CHUM3034/16 CGAS de 19/12/2016	
Humidade Relativa:	48,40%		

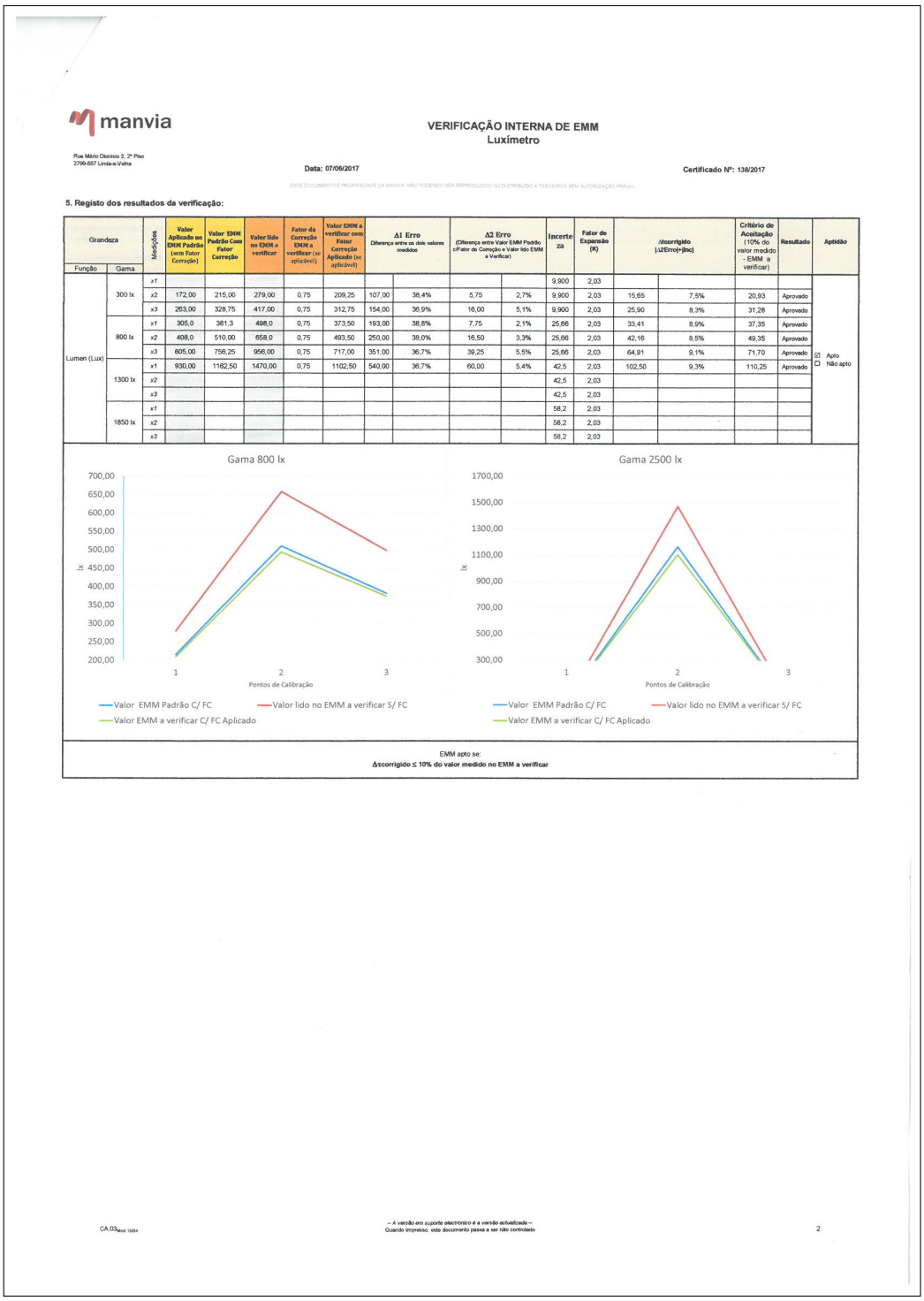
4. Validação:

[X] Apto Responsável: António Lopes

[ ] Inapto Data: 07/06/2017

OBS: Necessário aplicar um Fator de Correção de 0,75 a todos os valores medidos pelo equipamento de forma a obterem-se os valores corretos.

Figura C.3: Certificado de Calibração do Luxímetro - pagina 1



manvia

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

VERIFICAÇÃO INTERNA DE EMM
Luxímetro

Data: 07/06/2017

Certificado Nº: 138/2017

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 ao 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																	
Lumen (Lux)	300 lx	x1										9,900	2,03					☑ Apto ☐ Não apto
		x2	172,00	215,00	279,00	0,75	209,25	107,00	38,4%	5,75	2,7%	9,900	2,03	15,65	7,5%	20,93	Aprovado	
		x3	263,00	328,75	417,00	0,75	312,75	154,00	36,9%	16,00	5,1%	9,900	2,03	25,90	8,3%	31,28	Aprovado	
	800 lx	x1	305,0	381,3	498,0	0,75	373,50	193,00	38,8%	7,75	2,1%	25,66	2,03	33,41	8,9%	37,35	Aprovado	
		x2	408,0	510,00	658,0	0,75	493,50	250,00	38,0%	16,50	3,3%	25,66	2,03	42,16	8,5%	49,35	Aprovado	
		x3	605,00	756,25	956,00	0,75	717,00	351,00	36,7%	39,25	5,5%	25,66	2,03	64,91	9,1%	71,70	Aprovado	
	1300 lx	x1	930,00	1162,50	1470,00	0,75	1102,50	540,00	36,7%	60,00	5,4%	42,5	2,03	102,50	9,3%	110,25	Aprovado	
		x2										42,5	2,03					
		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

Figura C.4: Certificado de Calibração do Luxímetro - pagina 2

C.2 Luminárias

O/M

Tubo 50 Frost
Surface-mounted

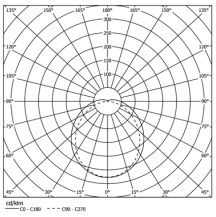
LED / High Output / 4000K / 43W / 6600lm / 1758mm / On/Off 42178

Design: Eduardo Souto de Moura
Surface-mounted luminaire with tubular, shock-resistant, frosted polycarbonate diffuser with 50mm diameter.
Clear polycarbonate end caps with marked installation angles.
Supplied with fitting accessories.



LED CRI>80 / >50.000h, L80/B10 / 3-step MacAdam
Power supply included.
IP67 | IK08 | 230Vac | 50/60Hz

LED High Output 4000K	Light Source	Luminaire
Power	43W	47,8W
Flux	6600lm	5700lm
Efficiency	153lm/W	119lm/W
LOR	-	86%
UGR	-	<28



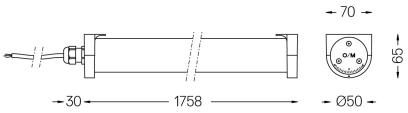
Beam angle
-

Application

Weight
2Kg

mm

Finishes
.25 Frost



This page was generated on 2018-01-20. Click here for the latest version.

www.om-light.com / mail@om-light.com Rua Santa Bárbara 27/45, 4400-289 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / Apartado 1538. 4401-901 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / tel. +351 223 710 419

Figura C.5: Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Surface-mounted* 43W da O/M

O/M

Tubo 50 Frost
Surface-mounted

LED / High Output / 4000K / 58W / 8800lm / 2320mm / On/Off 42198

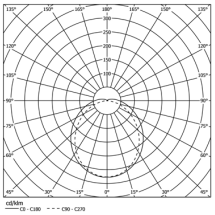
Design: Eduardo Souto de Moura
Surface-mounted luminaire with tubular, shock-resistant, frosted polycarbonate diffuser with 50mm diameter.
Clear polycarbonate end caps with marked installation angles.
Supplied with fitting accessories.



LED CRI>80 / >50.000h, L80/B10 / 3-step MacAdam
Power supply included.
IP67 | IK08 | 230Vac | 50/60Hz

LED High Output 4000K	Light Source	Luminaire
Power	58W	64,5W
Flux	8800lm	7600lm
Efficiency	152lm/W	118lm/W
LOR	-	86%
UGR	-	<28

mm



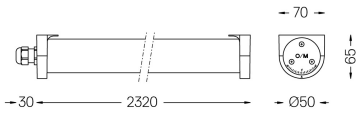
Beam angle
-

Application



Weight
3Kg

Finishes
.25 Frost



This page was generated on 2018-01-20. Click here for the latest version.

www.om-light.com / mail@om-light.com Rua Santa Bárbara 27/45, 4400-289 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / Apartado 1538. 4401-901 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / tel. +351 223 710 419

Figura C.6: Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Surface-mounted* 58W da O/M

O/M

Tubo 50 Frost
Pendant

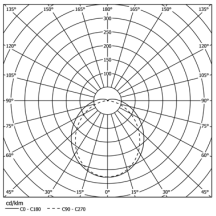
LED / High Output / 4000K / 43W / 6600lm / 1758mm / On/Off 42338



Design: Eduardo Souto de Moura
Pendant luminaire with tubular, shock-resistant, frosted polycarbonate diffuser with 50mm diameter. Clear polycarbonate end caps with marked installation angles.
Supplied with power supply base made of clear polycarbonate, clear power cable (3x0,75mm²) and steel suspension cables (1,2mm) with millimetric height adjustment system.

LED CRI>80 / >50.000h, L80/B10 / 3-step MacAdam
Power supply included.
IP67 | IK08 | 230Vac | 50/60Hz

High Output 4000K	Light Source	Luminaire
Power	**43W**	**47,8W**
Flux	**6600lm**	**5700lm**
Efficiency	**153lm/W**	**119lm/W**
LOR	**-**	**86%**
UGR	**-**	**<28**

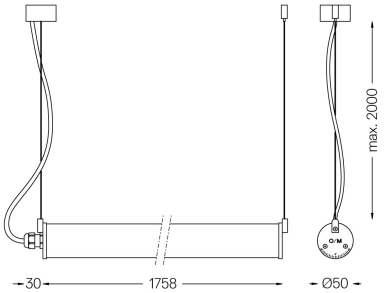


Beam angle
-

Application

Weight
1,95Kg

mm



Finishes
.25 Frost

Included
Clear power supply base
Ø60x37mm



This page was generated on 2018-01-20. Click here for the latest version.

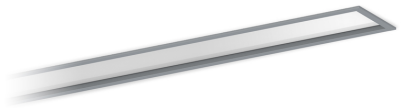
www.om-light.com / mail@om-light.com Rua Santa Bárbara 27/45, 4400-289 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / Apartado 1538. 4401-901 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / tel. +351 223 710 419

Figura C.7: Ficha Técnica da Luminária Tubo 50 *Frost Pendant* 43W da O/M

O/M

U60
Recessed

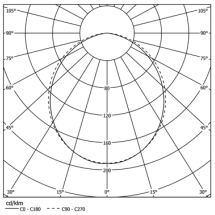
LED / High Output / 4000K / 58W / 8800lm / 2275mm / On/Off 32088



Design: Eduardo Souto de Moura
Recessed luminaire with housing made of anodised aluminium profile with matt or textured-paint finish.
Frosted polycarbonate diffuser with user friendly clipping system and double fitting system: flushed or recessed.
Aluminium end caps.
Supplied with fitting accessories.

LED CRI>80 / >50.000h, L80/B10 / 3-step MacAdam
Power supply included.
IP42 | 230Vac | 50/60Hz

LED High Output 4000K	Light Source	Luminaire
Power	**58W**	**64,5W**
Flux	**8800lm**	**4500lm**
Efficiency	**152lm/W**	**70lm/W**
LOR	**-**	**51%**
UGR	**-**	**<25**



Beam angle
-

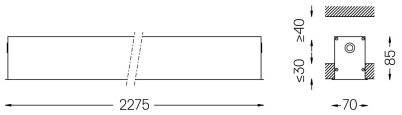
Application



Weight
4,1Kg

mm 62×2265

Finishes
.01 White / RAL 9010
.02 Black / RAL 9005
.10 Anodised aluminium
.00 RAL on request



O/M recommends that any false ceilings intended for recessed products should be installed only after the products to be used have been chosen. The same applies when preparing openings for this type of product. O/M recommends reinforcing false ceilings close to any such openings, in accordance with the characteristics of the product to be recessed.

This page was generated on 2018-01-20. Click here for the latest version.

www.om-light.com / mail@om-light.com Rua Santa Bárbara 27/45, 4400-289 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / Apartado 1538. 4401-901 Vila Nova de Gaia, Porto. Portugal. / tel. +351 223 710 419

Figura C.8: Ficha Técnica da Luminária U60 *Recessed* 43W da O/M

Ficha Técnica do Produto

processado com o WinElux

TPHLN 01 15014-03 DE 4200lm



APLICAÇÃO:
Luminária de encastrar com LED, com emissão direta da luz.

CORPO:
Corpo em perfil de alumínio extrudido e anodizado.
Topos executados em alumínio injetado.
Luminária com sistema de fixação ao tecto falso.

ÓPTICA:
Difusor em policarbonato semi-opalino areado.

ELECTRIFICAÇÃO:
Luminária eletrificada com driver (alimentação em AC ou DC).
Luminária fornecida com módulos LED.
Luminária equipada com ligador de repicagem.

Outros Dados:
Fluxo luminoso (luminária): 2268 lm / Eficiência luminosa (luminária): 64,8 lm/W;
Vida útil LED: 50000 horas / Temperatura de cor: 4000 K / CRI>80;
Código fotométrico: 840/359;

Tensão / Frequência	230V ~ 50Hz
Classe Eléctrica	Classe I
Nº Lâmpada x Potência (W)	5x6
Tipo Lâmpada / Casquilho	LED/LED
Rendimento (%) e Classe Fotométrica	54 D
Índice de protecção (estanquecidade)	IP30_IP33
Resistência ao fio incandescente (ºC)	750
Índice de resistência mecânica	
Temp.ª max. dos condutores (ºC)	90
Outras Marcas	
Normas	EN 60598-1, EN 60598-2-2; EN 55015, EN 61000-3-2, EN 61547; 2014/30/EU, 2014/35/EU; 2011/65/EU (Rohs); (EU) Nº 1194/2012 (Ecodesign)

ACESSÓRIOS:
União TPH.
União 90° TPH.
União 120° TPH.
União 135° TPH.

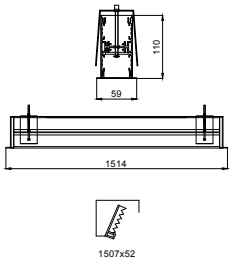
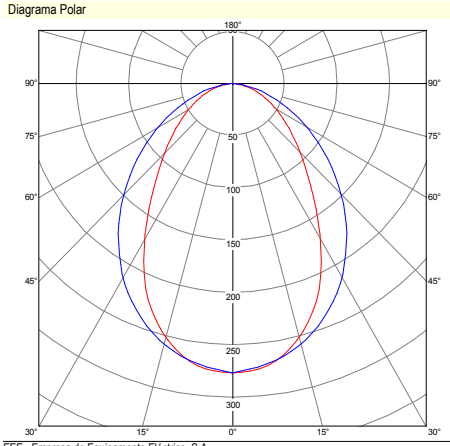


Diagrama Polar



Valores UGR corrigidos

Índices de reflexão											
Tecto		0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3
Paredes		0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
Plano Trabalho		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Dimensões do espaço		Vista transversal à(s) lâmpada(s)					Vista longitudinal à(s) lâmpada(s)				
2H	2H	18,3	19,9	18,7	20,2	20,5	20,8	22,3	21,2	22,6	23,0
2H	3H	19,4	20,8	19,8	21,1	21,5	22,1	23,5	22,5	23,8	24,1
2H	4H	19,9	21,1	20,3	21,5	21,9	22,6	23,9	23,0	24,2	24,6
2H	6H	20,2	21,4	20,6	21,7	22,1	22,9	24,1	23,3	24,5	24,9
2H	8H	20,3	21,4	20,7	21,8	22,2	23,0	24,1	23,4	24,5	24,9
2H	12H	20,3	21,4	20,7	21,8	22,2	23,0	24,1	23,4	24,5	24,9
4H	2H	19,1	20,4	19,5	20,7	21,1	21,1	22,4	21,5	22,7	23,1
4H	3H	20,3	21,4	20,8	21,8	22,2	22,6	23,6	23,0	24,0	24,4
4H	4H	20,9	21,9	21,4	22,3	22,7	23,2	24,2	23,6	24,6	25,0
4H	6H	21,3	22,1	21,7	22,6	23,0	23,6	24,5	24,1	24,9	25,4
4H	8H	21,4	22,2	21,9	22,7	23,1	23,8	24,5	24,2	25,0	25,5
4H	12H	21,5	22,3	22,0	22,7	23,2	23,9	24,6	24,3	25,0	25,5
8H	4H	21,2	22,0	21,7	22,4	22,9	23,3	24,1	23,8	24,5	25,0
8H	6H	21,7	22,3	22,2	22,8	23,3	23,8	24,4	24,3	24,9	25,4
8H	8H	21,9	22,5	22,4	23,0	23,5	24,0	24,6	24,6	25,1	25,6
8H	12H	22,1	22,6	22,6	23,1	23,6	24,2	24,6	24,7	25,2	25,7
12H	4H	21,2	22,0	21,7	22,4	22,9	23,3	24,0	23,8	24,5	25,0
12H	6H	21,8	22,4	22,3	22,9	23,4	23,9	24,4	24,4	24,9	25,4
12H	8H	22,0	22,5	22,5	23,0	23,5	24,1	24,5	24,6	25,1	25,6

EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico, S.A. 2017-12-04
Reservamos o direito de introduzir alterações técnicas sem aviso prévio.

Figura C.9: Ficha Técnica da Luminária TPHLN 35W da EEE - pagina 1

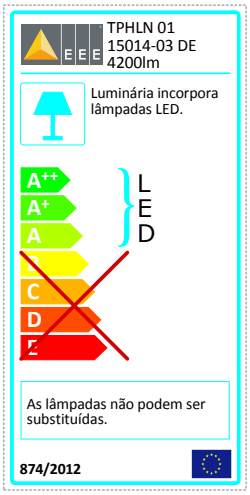


Figura C.10: Ficha Técnica da Luminária TPHLN 35W da EEE - pagina 2

Anexo D

Sistema FV

D.1 Painel FV



Figura D.1: Ficha Técnica do Painel FV MPRIME - pagina 1

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal Power (Wp)	P_{NOM}	250	255	260	265
Positive Power Tolerance		0~+5W			
MPP Current (A)	I_{MPP}	8,32	8,43	8,52	8,59
MPP Voltage (V)	V_{MPP}/U_{MPP}	30,0	30,2	30,5	30,8
Open Circuit Voltage (V)	V_{OC}/U_{OC}	37,3	37,6	37,8	38,1
Short Circuit Current (A)	I_{SC}	8,91	8,99	9,06	9,16
Module Efficiency	η (%)	15,4	15,7	16,0	16,3
Maximum System Voltage (V)	V_{SYST}	IEC:1000 / UL:1000			
Maximum Series Fuse Rating (A)	I	15			
Permitted module temperature on continuous duty		-40ºC up to +85ºC			
NOCT (ºC)		46±2			
Temperature Coefficients:					
Power	γ(P_{NOM})	-0,43%/ºC			
Voltage	β(Voc)	-0,33% /ºC			
Current	α(Isc)	+0,06%/ºC			

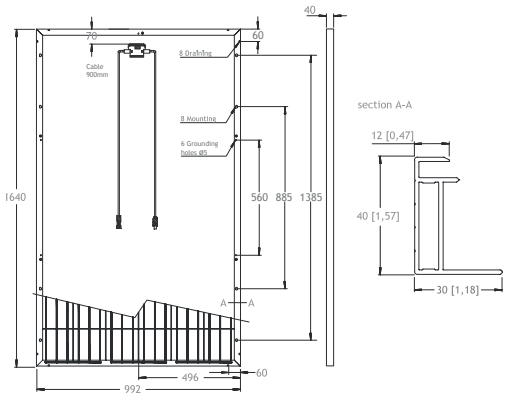
* Values at Standard Test Conditions STC: air mass AM 1,5G, irradiance 1000 W/m² and cell temperature (25º±2)ºC.

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Dimensions	1640 x 992 x 40 mm / 64,57" x 39,06" x 1,57"
Weight	18,5 kg / 40,7 lb
Solar Cells	6" Polycrystalline (156 x 156 mm)
Cell Connection	60 cells (6 x 10)
Glass	High transparency tempered glass 3,2 mm (0,13")
Frame	Anodized aluminium alloy
Diodes	3 diodes
Junction Box	IP-65 or IP-67 rated
Cable	Length 900mm* diameter 4 mm² each
Connectors	MC4 compatible

* 1200mm optional: delivery time subject to confirmation.

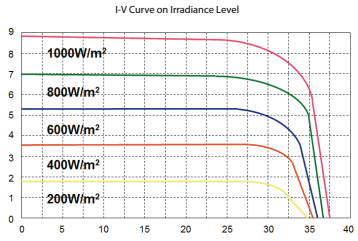
DIMENSIONS All figures are in mm [inch]



PACKAGING

Modules per pallete	26 pcs
Palletes per container	28 palletes
Modules per container	728 pcs

I-V CURVES



CAUTION: read safety and installation instructions before using the product. (available in WWW.MPRIMESOLAR.COM).

DISCLAIMER: specifications included in this datasheet are subject to change without notice from the company.
In case of any conflicts/problems that may arise due to misinterpretation, prevailing conditions are the ones described in the original version (in English).

PT065-TCD-GSGEN4B/01/12.15(EN)

Mprime

MPRIME SOLAR SOLUTIONS, S.A. ZONA INDUSTRIAL, APARTADO 36 / 3684-001 OLIVEIRA DE FRADES, PORTUGAL
TEL. +351 232 811 381 FAX. +352 232 767 750 INFO.PT@MPRIMESOLAR.COM WWW.MPRIMESOLAR.COM

Figura D.2: Ficha Técnica do Painel FV - MPRIME - pagina 2

D.2 Inversor

SUNNY TRIPOWER
15000TL / 20000TL / 25000TL



Rentável
- Rendimento máximo de 98,4%

Seguro
- Descarregador de sobretensões CC integrável (SPD tipo II)

Flexível
- Tensão de entrada CC até 1000 V
- Dimensionamento preciso do sistema graças ao conceito multistring
- Visor opcional

Inovador
- Funções de gestão da rede orientadas para o futuro graças ao Integrated Plant Control
- Disponibilização de potência reactiva a qualquer hora (Q on Demand 24/7)

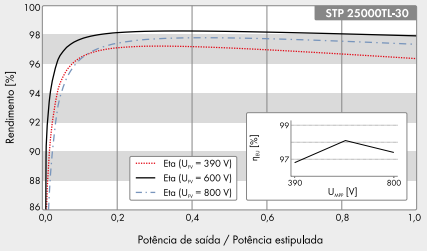
SUNNY TRIPOWER
15000TL / 20000TL / 25000TL

O especialista flexível para grandes sistemas comerciais e centrais fotovoltaicas

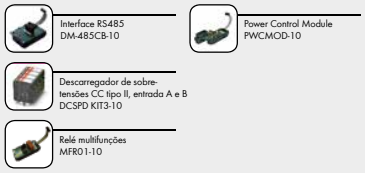
O Sunny Tripower é o inversor ideal para grandes sistemas fotovoltaicos na área comercial e industrial. A sua eficiência de 98,4% permite-lhe não só assegurar rendimentos extraordinariamente elevados, como também oferecer uma elevada flexibilidade de dimensionamento e compatibilidade com muitos módulos fotovoltaicos disponíveis, graças ao seu conceito multistring aliado a um intervalo de tensão de entrada alargado.
A orientação para o futuro traduz-se na integração de novas funções de gestão da rede como, p. ex., o Integrated Plant Control, que permite ao inversor executar sozinho uma regulação da potência reactiva no ponto de ligação à rede. Com isto, deixam de ser necessárias unidades de regulação superiores, reduzindo os custos do sistema. Outra novidade é a disponibilização de potência reactiva a qualquer hora (Q on Demand 24/7).

Figura D.3: Ficha Técnica do Inversor SMA - pagina 1

Curva de rendimento



Acessórios



● Equipamento de série ○ Opcional – Não disponível
Dados em condições nominais
Versão: Outubro de 2017

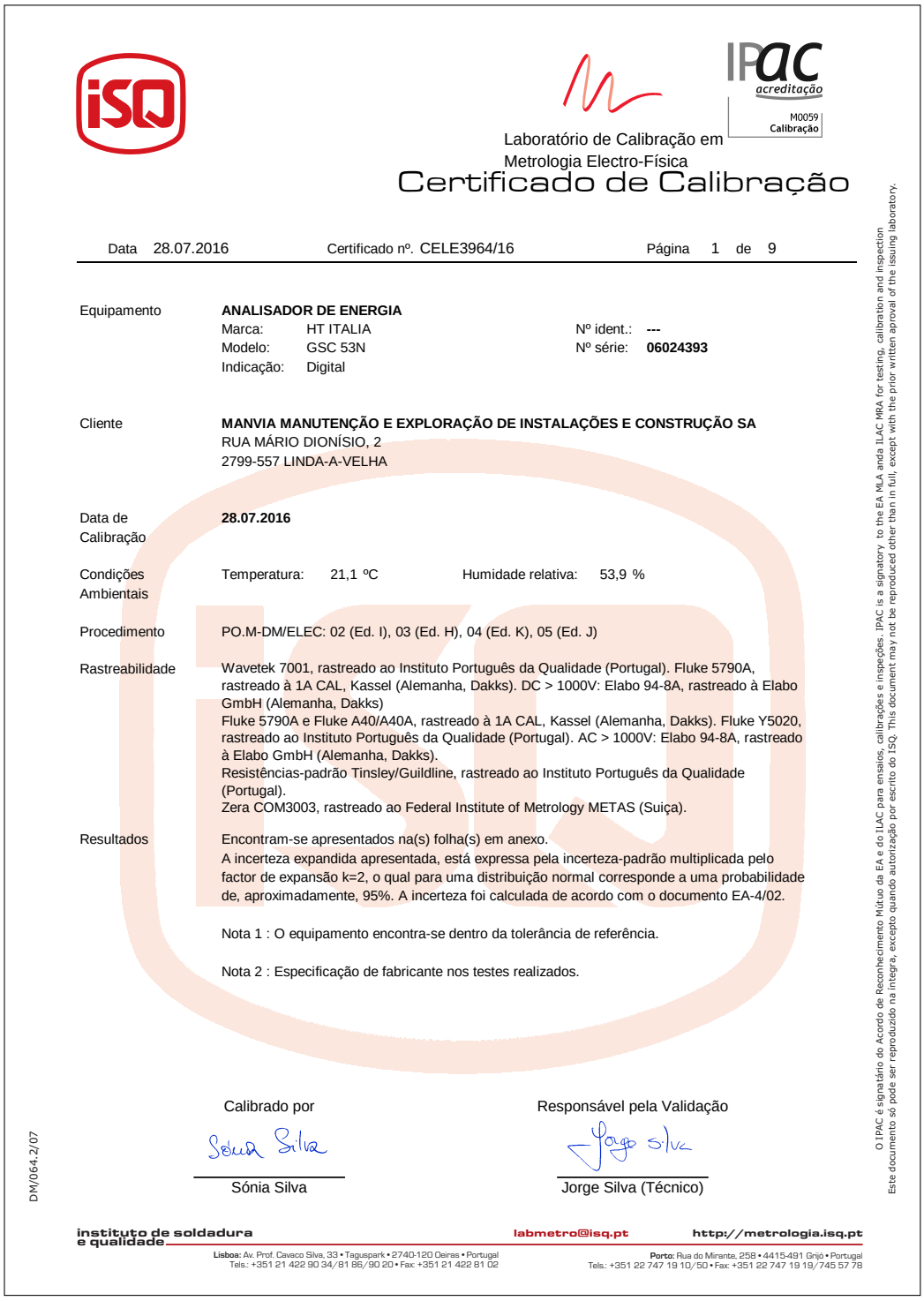
Dados técnicos	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Entrada (CC)		
Máx. potência do gerador fotovoltaico	36000 Wp	45000 Wp
Potência atribuída CC	20440 W	25550 W
Tensão máx. de entrada	1000 V	1000 V
Intervalo de tensão MPP / tensão atribuída de entrada	320 V a 800 V / 600 V	390 V a 800 V / 600 V
Tensão mín. de entrada / tensão de entrada inicial	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Corrente máx. de entrada Entrada A / Entrada B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Número de entradas MPP independentes / strings por entrada MPP	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Saída (CA)		
Potência atribuída (a 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Potência aparente CA máx.	20000 VA	25000 VA
Tensão nominal CA	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
Intervalo de tensão CA	180 V a 280 V	
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz	
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V	
Corrente máx. de saída / corrente atribuída de saída	29 A / 29 A	36,2 A / 36,2 A
Factor de potência na potência atribuída / Factor de desfasamento ajustável	1 / 0 sobreexcitado a 0 subexcitado	
THD	≤ 3%	
Fases de injecção / fases de ligação	3 / 3	
Rendimento		
Rendimento máx. / europeu	98,4% / 98,0%	98,3% / 98,1%
Dispositivos de protecção		
Ponto de seccionamento no lado de entrada	●	
Monitorização da ligação à terra / monitorização da rede	● / ●	
Descarregador de sobretensões CC: SPD tipo II	○	
Protecção contra inversão de polaridade CC / Resistência a curtos-circuitos CA / Galvanicamente separado	● / ● / –	
Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todas as correntes	●	
Classe de protecção (conforme a IEC 62109-1) / categoria de sobretensão (conforme a IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II	
Dados gerais		
Dimensões (L / A / P)	661 / 682 / 264 mm (26,0 / 26,9 / 10,4 in)	
Peso	61 kg (134,48 lb)	
Gama de temperatura de serviço	−25°C a +60°C (−13°F a +140°F)	
Emissões sonoras, típicas	51 dB(A)	
Autoconsumo (noite)	1 W	
Topologia / princípio de refrigeração	Sem transformador / OptiCool	
Grau de protecção (conforme a IEC 60529)	IP65	
Classe de condições ambientais (conforme a IEC 60721-3-4)	4K4H	
Valor máximo admissível da humidade relativa (sem condensação)	100%	
Equipamento / função / acessórios		
Ligação CC / ligação CA	SUNCLIX / terminal de mola	
Visor	○	
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●	
Interface de dados: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●	
Relé multifunções / Power Control Module	○ / ○	
OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Capacidade off-grid / Compatível com SMA Fuel Save Controller	● / ●	
Garantia: 5 / 10 / 15 / 20 anos	● / ○ / ○ / ○	
Homologações e certificados (mais a pedido) * Não se aplica a todos os anexos nacionais da EN 50438	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, DEWA 2.0, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
Designação do modelo	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

Figura D.4: Ficha Técnica do Inversor SMA - pagina 2

Anexo E

Qualidade de Energia

E.1 Analisador de Rede



Laboratório de Calibração em Metrologia Electro-Física

Certificado de Calibração

Data 28.07.2016 Certificado nº. CELE3964/16 Página 1 de 9

Equipamento	**ANALISADOR DE ENERGIA** Marca: HT ITALIA Nº ident.: --- Modelo: GSC 53N Nº série: **06024393** Indicação: Digital
Cliente	**MANVIA MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES E CONSTRUÇÃO SA** RUA MÁRIO DIONÍSIO, 2 2799-557 LINDA-A-VELHA
Data de Calibração	**28.07.2016**
Condições Ambientais	Temperatura: 21,1 ºC Humidade relativa: 53,9 %
Procedimento	PO.M-DM/ELEC: 02 (Ed. I), 03 (Ed. H), 04 (Ed. K), 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). Resistências-padrão Tinsley/Guildline, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). 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 1 : O equipamento encontra-se dentro da tolerância de referência. Nota 2 : Especificação de fabricante nos testes realizados.

Calibrado por: Sónia Silva

Responsável pela Validação: Jorge Silva (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 a 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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

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

Figura E.1: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 1

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 2 de 9

Resistência (Low Ω)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
20 Ω	Short	0,00 Ω	---	---	---	---
	0,25 Ω	0,25 Ω	0,00 Ω	± 0,03 Ω	± 0,01 Ω	33 %
	50 Ω	50,3 Ω	0,3 Ω	± 1,2 Ω	± 0,1 Ω	33 %

Tensão de ensaio sobre uma resistência de 20MΩ

Valor padrão	Valor nominal	Incerteza
53,5 V	50 V	± 0,3 V
107,3 V	100 V	± 0,3 V
26,6 V	250 V	± 0,3 V
525,7 V	500 V	± 0,4 V
1271,0 V	1000 V	± 0,6 V

Isolamento (RISO)

Gama / Função	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
500 V/MΩ	0,22 MΩ	0,22 MΩ	0,00 MΩ	± 0,02 MΩ	± 0,01 MΩ	50 %
	1,8 MΩ	1,80 MΩ	0,00 MΩ	± 0,06 MΩ	± 0,01 MΩ	17 %
1000 V/MΩ	5 MΩ	5,01 MΩ	0,01 MΩ	± 0,12 MΩ	± 0,09 MΩ	83 %
	30 MΩ	30,2 MΩ	0,2 MΩ	± 0,8 MΩ	± 0,2 MΩ	50 %
	77 MΩ	77,1 MΩ	0,1 MΩ	± 1,7 MΩ	± 0,2 MΩ	18 %
	1500 MΩ	1491 MΩ	-9 MΩ	± 77 MΩ	± 1 MΩ	13 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.2: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 2

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

RCD

Valor padrão	Valor seleccionado	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
10,50 mA	10 mA	-0,50 mA	± 2,00 mA	± 0,02 mA	26 %
30,17 mA	30 mA	-0,17 mA	± 3,00 mA	± 0,04 mA	7 %
102,0 mA	100 mA	-2,0 mA	± 4,0 mA	± 0,2 mA	55 %

Resistência (Earth)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
20 Ω	Short	0,10 Ω	---	---	---	---
	0,1 Ω	0,11 Ω	0,01 Ω	0,04 Ω	± 0,01 Ω	50 %
200 Ω	120 Ω	119,9 Ω	-0,1 Ω	6,3 Ω	± 0,1 Ω	3 %
2000 Ω	300 Ω	299 Ω	-1 Ω	18 Ω	± 1 Ω	11 %
	1800 Ω	1803 Ω	3 Ω	93 Ω	± 1 Ω	4 %

Tensão alternada (B1-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz	99,8 V	-0,2 V	± 0,7 V	± 0,1 V	43 %
	230 V/50Hz	230,2 V	0,2 V	± 1,4 V	± 0,2 V	29 %
	400 V/50Hz	398,4 V	-1,6 V	± 2,2 V	± 0,3 V	86 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 a 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.

Figura E.3: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 3

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

Tensão alternada (B2-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz	99,9 V	-0,1 V	± 0,7 V	± 0,1 V	29 %
	230 V/50Hz	230,2 V	0,2 V	± 1,4 V	± 0,2 V	29 %
	400 V/50Hz	398,7 V	-1,3 V	± 2,2 V	± 0,3 V	73 %

Tensão alternada (B3-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz	99,9 V	-0,1 V	± 0,7 V	± 0,1 V	29 %
	230 V/50Hz	230,1 V	0,1 V	± 1,4 V	± 0,2 V	21 %
	400 V/50Hz	398,9 V	-1,1 V	± 2,2 V	± 0,3 V	64 %

(I1) Pinça nº série: H05180348285
(I2) Pinça nº série:H05312246385
(I3) Pinça nº série: H05312245085

Corrente alternada (I1)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	45,0 A	0,0 A	± 0,5 A	± 0,3 A	60 %
	100 A/50Hz	99,4 A	-0,6 A	± 1,0 A	± 0,4 A	100 %
	250 A/50Hz	249,4 A	-0,6 A	± 2,5 A	± 0,9 A	60 %
	400 A/50Hz	398,7 A	-1,3 A	± 4,0 A	± 1,3 A	65 %
	530 A/50Hz	529,2 A	-0,8 A	± 5,3 A	± 1,7 A	47 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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.

Figura E.4: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 4

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 5 de 9

Corrente alternada (I2)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	45,1 A	0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A	80 %
	100 A/50Hz	99,6 A	-0,4 A	± 1,0 A	± 0,4 A	80 %
	250 A/50Hz	250,0 A	0,0 A	± 2,5 A	± 0,9 A	36 %
	400 A/50Hz	399,8 A	-0,2 A	± 4,0 A	± 1,3 A	37 %
	530 A/50Hz	530,5 A	0,5 A	± 5,4 A	± 1,7 A	41 %

Corrente alternada (I3)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	44,9 A	-0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A	80 %
	100 A/50Hz	99,4 A	-0,6 A	± 1,0 A	± 0,4 A	100 %
	250 A/50Hz	249,2 A	-0,8 A	± 2,5 A	± 0,9 A	68 %
	400 A/50Hz	398,2 A	-1,8 A	± 4,0 A	± 1,3 A	78 %
	530 A/50Hz	528,6 A	-1,4 A	± 5,3 A	± 1,7 A	58 %

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,175	230,1	44,8	0,50	5,209	0,034 kW	± 0,193 kW	± 0,028 kW	32 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,4	0,50	11,51	0,01 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	19 %
	250	0,5	28,75	230,1	249,4	0,50	28,96	0,21 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	34 %
	400	0,5	46,00	230,1	399,9	0,50	46,18	0,18 kW	± 1,71 kW	± 0,25 kW	25 %
	530	0,5	60,95	230,1	530,6	0,50	61,12	0,17 kW	± 2,27 kW	± 0,33 kW	22 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.5: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 5

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 6 de 9

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,175	230,1	45,2	0,50	5,321	0,146 kW	± 0,197 kW	± 0,028 kW	88 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,7	0,50	11,67	0,17 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	55 %
	250	0,5	28,75	230,1	250,3	0,50	29,18	0,43 kW	± 1,08 kW	± 0,16 kW	55 %
	400	0,5	46,00	230,1	399,2	0,50	46,24	0,24 kW	± 1,71 kW	± 0,25 kW	29 %
	530	0,5	60,95	230,1	529,7	0,50	61,49	0,54 kW	± 2,28 kW	± 0,33 kW	38 %

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,175	230,1	45,2	0,50	5,272	0,097 kW	± 0,195 kW	± 0,028 kW	64 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,4	0,50	11,56	0,06 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	30 %
	250	0,5	28,75	230,1	249,1	0,50	28,93	0,18 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	32 %
	400	0,5	46,00	230,1	396,6	0,50	45,73	-0,27 kW	± 1,70 kW	± 0,25 kW	31 %
	530	0,5	60,95	230,1	526,3	0,50	60,71	-0,24 kW	± 2,25 kW	± 0,33 kW	25 %

Potência Reactiva - Indutivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	8,963	230,1	44,8	0,50	8,921	-0,042 kVAr	± 0,048 kVAr	± 0,048 kVAr	27 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,4	0,50	19,76	-0,16 kVAr	± 0,11 kVAr	± 0,11 kVAr	37 %
	250	0,5	49,80	230,1	249,4	0,50	49,56	-0,24 kVAr	± 0,27 kVAr	± 0,27 kVAr	28 %
	400	0,5	79,67	230,1	399,9	0,50	79,46	-0,21 kVAr	± 0,43 kVAr	± 0,43 kVAr	22 %
	530	0,5	105,6	230,1	530,6	0,50	105,5	-0,1 kVAr	± 0,6 kVAr	± 0,6 kVAr	18 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.6: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 6

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

M0059
Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 7 de 9

Potência Reactiva - Indutivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	8,963	230,1	45,2	0,50	8,958	-0,005 kVAr	± 0,332 kVAr	± 0,048 kVAr	16 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,7	0,50	19,75	-0,17 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	38 %
	250	0,5	49,80	230,1	250,3	0,50	49,61	-0,19 kVAr	± 1,84 kVAr	± 0,27 kVAr	25 %
	400	0,5	79,67	230,1	399,2	0,50	79,25	-0,42 kVAr	± 2,94 kVAr	± 0,43 kVAr	29 %
	530	0,5	105,6	230,1	529,7	0,50	105,2	-0,4 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	26 %

Potência Reactiva - Indutivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	8,963	230,1	45,2	0,50	8,977	0,014 kVAr	± 0,333 kVAr	± 0,048 kVAr	19 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,4	0,50	19,72	-0,20 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	42 %
	250	0,5	49,80	230,1	249,1	0,50	49,44	-0,36 kVAr	± 1,83 kVAr	± 0,27 kVAr	34 %
	400	0,5	79,67	230,1	396,6	0,50	78,87	-0,80 kVAr	± 2,92 kVAr	± 0,43 kVAr	42 %
	530	0,5	105,6	230,1	526,3	0,50	104,7	-0,9 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	39 %

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,2	230,1	45,2	0,50	5,197	0,022 kW	± 0,193 kW	± 0,028 kW	26 %
	100	0,5	11,5	230,1	99,7	0,50	11,36	-0,14 kW	± 0,42 kW	± 0,07 kW	50 %
	250	0,5	28,8	230,1	99,8	0,50	28,51	-0,24 kW	± 1,06 kW	± 0,16 kW	38 %
	400	0,5	46,0	230,1	399,2	0,50	45,08	-0,92 kW	± 1,67 kW	± 0,25 kW	70 %
	530	0,5	61,0	230,1	529,7	0,50	60,02	-0,93 kW	± 2,23 kW	± 0,33 kW	57 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 a 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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.7: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 7

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

IPAC acreditação M0059 Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 8 de 9

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,2	230,1	45,3	0,50	5,238	0,063 kW	± 0,194 kW	± 0,028 kW	47 %
	100	0,5	11,5	230,1	100,1	0,50	11,49	-0,01 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	19 %
	250	0,5	28,8	230,1	251,5	0,50	28,81	0,06 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	21 %
	400	0,5	46,0	230,1	401,9	0,50	45,52	-0,48 kW	± 1,69 kW	± 0,25 kW	43 %
	530	0,5	61,0	230,1	532,7	0,50	60,62	-0,33 kW	± 2,25 kW	± 0,33 kW	29 %

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				%Tolerância
230	45	0,5	5,2	230,1	44,7	0,50	5,181	0,006 kW	± 0,192 kW	± 0,028 kW	18 %
	100	0,5	11,5	230,1	98,8	0,50	11,34	-0,16 kW	± 0,42 kW	± 0,07 kW	55 %
	250	0,5	28,8	230,1	248,4	0,50	28,41	-0,34 kW	± 1,05 kW	± 0,16 kW	47 %
	400	0,5	46,0	230,1	396,3	0,50	44,95	-1,05 kW	± 1,67 kW	± 0,25 kW	78 %
	530	0,5	61,0	230,1	526,3	0,50	59,84	-1,11 kW	± 2,22 kW	± 0,33 kW	65 %

Potência Reactiva - Capacitivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	-8,835	230,1	45,2	0,50	-9,011	-0,176 kVAr	± 0,334 kVAr	± 0,047 kVAr	67 %
	100	0,5	-19,92	230,1	99,7	0,50	-19,91	0,01 kVAr	± 0,74 kVAr	± 0,11 kVAr	16 %
	250	0,5	-49,80	230,1	99,8	0,50	-49,97	-0,17 kVAr	± 1,85 kVAr	± 0,27 kVAr	24 %
	400	0,5	-79,67	230,1	399,2	0,50	-79,93	-0,26 kVAr	± 2,96 kVAr	± 0,43 kVAr	23 %
	530	0,5	-105,6	230,1	529,7	0,50	-105,5	0,1 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	18 %

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.8: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 8

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

IPAC acreditação M0059 Calibração

Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16 Página 9 de 9

Potência Reactiva - Capacitivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	-8,835	230,1	45,3	0,50	-9,029	-0,189 kVAr	± 0,335 kVAr	± 0,047 kVAr	70 %
	100	0,5	-19,92	230,1	100,1	0,50	-19,99	-0,07 kVAr	± 0,74 kVAr	± 0,11 kVAr	24 %
	250	0,5	-49,80	230,1	251,5	0,50	-50,20	-0,40 kVAr	± 1,86 kVAr	± 0,27 kVAr	36 %
	400	0,5	-79,67	230,1	401,9	0,50	-80,26	-0,59 kVAr	± 2,98 kVAr	± 0,43 kVAr	34 %
	530	0,5	-105,6	230,1	532,7	0,50	-106,6	-1,0 kVAr	± 4,0 kVAr	± 0,6 kVAr	41 %

Potência Reactiva - Capacitivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc.
V	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				%Tolerância
230	45	0,5	-8,841	230,1	44,7	0,50	-8,888	-0,047 kVAr	± 0,329 kVAr	± 0,047 kVAr	29 %
	100	0,5	-19,92	230,1	98,8	0,50	-19,71	0,21 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	44 %
	250	0,5	-49,80	230,1	248,4	0,50	-49,55	0,25 kVAr	± 1,84 kVAr	± 0,27 kVAr	28 %
	400	0,5	-79,67	230,1	396,3	0,50	-79,20	0,47 kVAr	± 2,94 kVAr	± 0,43 kVAr	31 %
	530	0,5	-105,6	230,1	526,3	0,50	-105,1	0,5 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	27 %

(!) NOTA: O laboratório não se encontra acreditado nos pontos assinalados.

Na calibração, foram utilizados os acessórios identificados com uma etiqueta de calibração igual à do equipamento.

Calibrado por

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva (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 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02
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

Figura E.9: Certificado de Calibração do Analisador de Rede - pagina 9

E.2 Filtro de Harmónicos

Lista de Precios 2018_Filtros activos

Resumen de características técnicas ECOsine®Active para redes de 400V, 50 Hz

FN 3420-...	3 hilos	..-30-480-3	..-50-480-3	-	..100-480-3	-120-480-3	-200-480-3	-250-480-3	-300-480-3
FN 3430-...	4 hilos	..-30-400-4	-	..60-400-4	..100-400-4	-120-400-4	-200-400-4	-250-400-4	-300-400-4
Corriente de Compensación I_N	3 hilos	30A	50A	-	100A	120A	200A	250A	300A
	4 hilos(F/N)	30/90A	-	60/180A	100/300A	120/360A	200/600A	250/750A	300/750A
Frecuencia de conmutación	16 kHz								
Refrigeración	Ventilación forzada								
T. ambiente	40ºC			30ºC	40ºC	30ºC	40ºC		
Interface	Modbus RTU (RS485), Modbus TCP/IP (Ethernet)								
Pérdidas, W	3 hilos	<900W	<1300W	-	<2200W	<2500W	<5000W	<6000W	<7500W
	4 hilos	<950W	-	<1800W	<3000W	<3000W	<5500W	<6300W	<8500W
Ruido, dBA (1m)	3 hilos	65dBA	65dBA	-	68dBA	68dBA	70dBA	70dBA	70dBA
	4 hilos	63dBA	-	63dBA	69dBA	69dBA	70dBA	70dBA	70dBA
Dimensiones (mm) A x H x F	3 hilos	360x590x290	360x590x290	-	468x970x412	468x970x412	800x2000x600		
	4 hilos	415x840x300	-	415x840x300	468x1460x412	468x1460x412	800x2000x600		
Peso (Kg)	3 hilos	47kg	47kg	-	105kg	105kg	415kg		
	4 hilos	70kg	-	70kg	145kg	145kg	495kg		
Protección	IP 20 (Opcional IP54)						IP 54		
Tiempo de respuesta	300 microsegundos								
Precio (€)	3 hilos	22.512,00	23.221,00	-	34.734,00	37.454,00	101.242,00	106.446,00	124.189,00
	4 hilos	22.784,00	-	24.246,00	35.060,00	38.241,00	93.002,00	101.810,00	112.871,00

Para la elección del filtro activo, ver pág. 34-35 y 82-85
For the election of the active filter, see p. 34-35 and 82-85

Figura E.10: Ficha Técnica do Filtro de Harmónicos ECOsine Active

E.3 Bateria de Condensadores

EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

RAM 60

Equipamentos completos com regulador, condensadores, contactores e dispositivos de proteção. Estes equipamentos RAM foram concebidos para compensação centralizada ou compensação parcial de instalações com moderada sobrecarga harmónica THC < 40 %.





CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tensão nominal: 400 V
Frequência: 50 Hz
Temperatura: -25+55 ºC(-25/D)
Armário: Em chapa de aço, pintura epoxy (cor RAL 7035). Montagem na parede. Equipado com 1 módulo.
G. de proteção: IP 30 com armário fechado.
Arrefecimento: Ventilação forçada, controlada por termostato.
Corte geral: Interruptor com encravamento de porta 3x125 A.
Proteção dos escalões: Proteção por fusíveis NH00/125 A.
Regulador: Norcontrol LSA, com 6 leituras de Cos φ, V, I, ΔKVAr em falta, Cos φ média semanal, %TDI, ºC. Com inversão automática do T.I., determinação automática do C/K, comutação manual automático, regulação do fator potência pretendido, sinalização dos escalões em serviço, saída RS232 e 9 alarmes: Baixo Cos φ, Elevado Cos φ, Intensidade Baixa, Intensidade Elevada, Tensão Baixa, Tensão Elevada, % Sobrecarga, Temperatura Elevada, Falha de Tensão, com a possibilidade de desativação independente. Configuração no teclado, ou por software (opcional).
Contactores: Devidamente dimensionados em função da potência do escalão, com dispositivo de pré-carga para limitação dos picos de intensidade dos condensadores.
Condensadores: Trifásicos, tensão nominal 440 V, em filme de polipropileno metalizado, semi-seco, com resina biodegradável não PCB. Autocicatrizante, de perdas reduzidas, com resistências de descarga e proteção contra sobrepressões (dispositivo anti-explosão). Terminais SIGUT. Tempo de vida até 130.000 horas. THC < 40% e classe de temperatura -25/D.
Perdas: Condensadores: < 0,2 W/kvar
Instalação: Interior, R.H. < 95 % (sem condensação), altitude < 4000 m
Normas: Dt. 2006/95/CE; Normas: IEC 61921:2003; NP EN 61439-1:2011

REGULADOR - LSA

Operações através de microprocessador, com 6 leituras, comutação manual automático, regulação do fator potência pretendido, sinalização dos escalões em serviço, 9 alarmes com desativação independente, inversão automática do T.I..



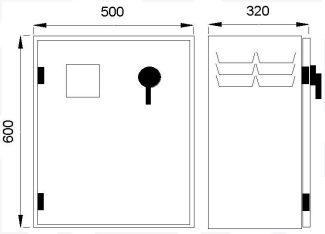
kVAr 400V	Escalões (kVAr) 1º	2º	3º	4º	Comb.	I (400 V) A	Peso (Kg)	Tipo
RAM 60								*THC* < 40 %*
20	5	5	10		4	29	31,8	RAM 60 / 20 - 400 V
25	5	10	10		5	36	32,5	RAM 60 / 25 – 400 V
30	10	10	10		3	43	33,6	RAM 60 / 30 - 400 V
40	10	10	10	10	4	57	35,4	RAM 60 / 40 - 400 V
45	5	10	10	20	9	64	36	RAM 60 / 45 - 400 V
50	10	10	10	20	5	72	37	RAM 60 / 50 - 400 V
55	5	10	20	20	11	79	38	RAM 60 / 55 – 400 V
60	10	10	20	20	6	86	39	RAM 60 / 60 - 400 V

SISTEMA MODULAR

Módulo de condensadores, extraível, RAM 60 kVAr - 400 V.



Dimensões em mm



** THC – Distorção Harmónica nos Condensadores.*

Junho de 2014

Figura E.11: Ficha Técnica da Bateria de Condensadores - Norcontrol RAM 60/55

Referências

[1] Parque Escolar. Modernização das Escolas, 2008.

[2] ONU. Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2017 on ONU Brasil | Trello. URL: https://trello.com/c/YFVZK1FP/39-perspectivas-da-populaç~{a}o-mundial-revis~{a}o-de-2017 [Acedido em: 14 de outubro de 2017].

[3] BP. URL: https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf.

[4] John Reilly, Adam Schlosser, Jeffery Scott, e Andrei Sokolov. 2016 Food, Water, Energy & Climate Outlook. 2016. URL: https://globalchange.mit.edu/sites/default/files/newsletters/files/2016-JP-Outlook.pdf.

[5] DGEG. Energia em Portugal 2015. Relatório técnico, 2015.

[6] Edição Mensal. BOLETIM ENERGIAS RENOVÁVEIS. 2017. URL: http://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/12-boletim-energias-renovaveis--dezembro.pdf.

[7] DGEG. BALANÇO ENERGÉTICO 2016-Sintético. 2016.

[8] APREN. APREN - Produção. URL: http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[9] Isabel Soares. As políticas e prioridades para a Eficiência Energética e para as Energias Renováveis em Portugal. 2020. URL: http://www.gppq.fct.pt/h2020/docs/eventos/5632apresentacao-dgeg.pdf.

[10] André Sá. *Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética*. Publindústria, 2016.

[11] ExxonMobil. Global efficiency limits demand growth | ExxonMobil. URL: http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook/charts-2017/global-efficiency-limits-demand-growth [Acedido em: 10 de outubro de 2017].

[12] Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making. URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IEA_EnergyEfficiencyIndicators_EssentialsforPolicyMaking.pdf.

[13] João Tomé Saraiva, José Silva, e Maria Ponce de Leão. *Mercados de Electricidade - Regulação e Tarifação de Uso das Redes*. 2002.

[14] Resenha Histórica. Capítulo 3 Mercado Ibérico de Eletricidade 3.1 -Caracterização do Setor Elétrico Português. URL: https://paginas.fe.up.pt/{~}ee07386/wp-content/uploads/2012/06/Capítulo-3.pdf.

[15] ERSE. Portal ERSE - Eletricidade. URL: http://www.erse.pt/pt/electricidade/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[16] ILUMINACIÓN: CURVA DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA. URL: http://iluminaciondeinteriores.blogspot.pt/2009/04/curva-de-distribucion-luminosa.html [Acedido em: 20 de outubro de 2017].

[17] A Lei do Funil: Adeus lâmpada incandescente. URL: http://ofunill.blogspot.pt/2012/09/adeus-lampada-incandescente.html [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[18] OBI. Hochvolt-Halogenlampen kaufen bei OBI - OBI.ch. URL: https://www.obi.ch/leuchtmittel/hochvolt-halogenlampen/c/2146 [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[19] Mercado livre. Lote Com 10 Lâmpadas Fluorescente Tubular T5-14w - R$ 52,00 em Mercado Livre. URL: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-921260654-lote-com-10-lmpadas-fluorescente-tubular-t5-14w-_JM [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[20] Pointdaluz. Lampada Fluorescente Compacta 3U 20W 127V 6400K. URL: https://www.pointdaluz.com/lampada-fluorescente-compacta-3u-20w-127v-6400k.html [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[21] Só Faz Quem Sabe. Comparação qualitativa das características dos vários tipos de lâmpadas. - Só Faz Quem Sabe. URL: http://www.sofazquemsabe.com/2013/08/comparacao-qualitativa-caracteristicas-tipos-de-lampadas.html?m=1 [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[22] Mundo da Elétrica. O que são lâmpadas de descarga em alta pressão? URL: https://www.mundodaeletrica.com.br/lampadas_descarga_alta_pressao/ [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[23] Mercado livre. Lampada Vapor De Sódio 400w - Lâmpadas no Mercado Livre Brasil. URL: https://lista.mercadolivre.com.br/casa-moveis-decoracao/iluminacao-residencial/lampadas/lampada-vapor-de-sódio-400w [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[24] CAJAF. Lâmpada Iodetos Metálicos 70W G12 - CAJAF. URL: https://www.cajaf.pt/product.php?id_product=2744 [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[25] Soko. Iluminacao por Inducao. URL: http://www.sokoprodutos.com.br/Page1744.htm [Acedido em: 29 de novembro de 2017].

[26] FEUP. Conteudos da UC de Luminotecnia, 2017.

[27] João Mourinho. Melhoria da eficiência energética na Escola Fontes Pereira de Melo. 2016.

[28] DGEG e Ministério da Economia e do Emprego. Grandes linhas de orientação para a revisão dos Planos Nacionais de Ação para : Eficiência Energética (PNAEE) e Energias Renováveis (PNAER). *Net Zero-Energy Buildings Conference*, página 29, 2012. URL: http://www.lneg.pt/download/5650.

[29] ERSE. Portal ERSE - Períodos horários. URL: http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[30] S&C. Cabo para Painéis Fotovoltaicos. URL: http://www.scondutores.pt/datasheets/PT/Ficha_Tecnica_Cabo_Solar_PV_Fotovoltaico.pdf.

[31] Norma NP EN 50160:2001. URL: https://paginas.fe.up.pt/{~}ee86007/pagina_norma_np_en_50160-2001.htm [Acedido em: 6 de Janeiro de 2018].

[32] *519-1992 IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/210894/?denied.

[33] Manvia. Manvia | História. URL: http://www.manvia.pt/sobre/historia/ [Acedido em: 20 de setembro de 2017].

[34] Manvia. Manvia | Organização. URL: http://www.manvia.pt/sobre/historia/ [Acedido em: 20 de setembro de 2017].

[35] Manvia. Manvia | Certificação. URL: http://www.manvia.pt/sobre/historia/ [Acedido em: 20 de setembro de 2017].

[36] Manvia. Manvia | Áreas de Negócio. URL: http://www.manvia.pt/sobre/historia/ [Acedido em: 20 de setembro de 2017].

[37] Parque Escolar. Missão e Objetivos | Parque Escolar, E.P.E. URL: https://www.parque-escolar.pt/pt/empresa/missao-e-objetivos.aspx [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[38] Diário Da República. Decreto de lei nº 41/2007, 2007. URL: https://dre.pt/application/file/a/517895.

[39] Parque Escolar. Modelo Concetual | Parque Escolar, E.P.E. URL: https://www.parque-escolar.pt/pt/programa/modelo-concetual.aspx [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[40] Parque Escolar. Manutenção | Parque Escolar, E.P.E. URL: https://www.parque-escolar.pt/pt/programa/manutencao-apresenta.aspx [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[41] Parque Escolar. Enquadramento | Parque Escolar, E.P.E. URL: https://www.parque-escolar.pt/pt/programa/enquadramento.aspx [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[42] Parque Escolar. Renovar: Soares dos Reis, 2008.

[43] Parque Escolar. ESCOLA ARTÍSTICA SOARES DOS REIS | Parque Escolar, E.P.E. URL: https://www.parque-escolar.pt/pt/escola/001 [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[44] EDP. O que é energia? URL: http://www.edp.com.br/pesquisadores-estudantes/energia/o-que-e-energia/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[45] EDP. Tipos de energia. URL: http://www.edp.com.br/pesquisadores-estudantes/energia/tipos-de-energia/Paginas/default.aspx{#}2 [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[46] Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects. Relatório técnico, UNITED NATIONS, Nova Iorque, 2017. URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.

[47] Agência EFE. ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030 | Agência Brasil - Últimas notícias do Brasil e do mundo. URL: http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030 [Acedido em: 22 de novembro de 2017].

[48] THE WORLD BANK. Population, total | Data. URL: https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2016&start=1960&view=chart [Acedido em: 6 de outubro de 2018].

[49] ERSE. Portal ERSE - PRE - Produção em Regime Especial. URL: http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/prodregesp/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[50] Parlamento Europeu. Pacote clima-energia: "três vintes"até 2020. URL: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//PT [Acedido em: 14 de outubro de 2017].

[51] ONU Brasil. Meio ambiente | ONU Brasil. URL: https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/ [Acedido em: 14 de outubro de 2017].

[52] UNDP. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | PNUD Brasil. URL: http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/post-2015.html [Acedido em: 1 de novembro de 2017].

[53] Portal do ambiente e do cidadão. Desenvolvimento Sustentável — Portal do ambiente. URL: http://ambiente.maiadigital.pt/desenvolvimento-sustentavel/desenvolvimento-sustentavel [Acedido em: 2 de outubro de 2017].

[54] Agência Portuguesa do Ambiente. APA - Políticas > Estratégias, Prospetiva e Análise Económica > ENDS 2015. URL: http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16{&}subref=143{&}sub2ref=734 [Acedido em: 18 de novembro de 2017].

[55] Ministérios do Ambiente. Protocolo de Quioto. URL: http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto [Acedido em: 10 de outubro de 2017].

[56] ERSE. Portal ERSE - Enquadramento legislativo do PPEC. URL: http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/Paginas/Enquadramentolegislativo.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[57] Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. FEE. URL: http://www.pnaee.pt/fee [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[58] Portugal 2020. Portugal2020 - O que é o Portugal 2020. URL: https://www.portugal2020.pt/Portal2020/o-que-e-o-portugal2020 [Acedido em: 2 de outubro de 2017].

[59] Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. PNAEE. URL: http://www.pnaee.pt/pnaee [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[60] Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. Eco.AP. URL: http://www.pnaee.pt/eco-ap [Acedido em: 23 de setembro de 2017].

[61] ERSE. Portal ERSE - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica. URL: http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[62] ERSE. Portal ERSE - PPEC 2017 - 2018. URL: http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/ppec17-18/Paginas/default.aspx [Acedido em: 17 de novembro de 2017].

[63] Adene. Sistemas Solares Térmicos Saiba mais sobre. URL: http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/10see-06-sist-st.pdf.

[64] SGCIE. Páginas - Metas. URL: http://sgcie.publico.adene.pt/SGCIE/Paginas/Metas.aspx [Acedido em: 18 de novembro de 2017].

[65] ERSE. Portal ERSE - Glossário. URL: http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/Paginas/default.aspxhttp://www.erse.pt/pt/glossario/Paginas/glossario.aspx?folder=664e186b-ff5e-4c7c-a1b5-5156e212800f [Acedido em: 17 de dezembro de 2017].

[66] Manvia. Manual de Manutenção. 2014.

[67] José Neves dos Santos. Tabelas, Regras e Dados Diversos (Para o Dimensionamento de Canalizações Elétricas), 2000.

[68] José Neves dos Santos. NOÇÕES BÁSICAS DE LUMINOTECNIA, 2007.

[69] Frank Kreith e D. Yogi Goswami. *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*. 2007.

[70] IST. Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004.

[71] Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. página 1, 2008.

[72] Technical Committee CEN/TC 169 "Light and Lighting

. Light and lighting - Lighting of work places - Part 1 : Indoor work. *European Standard*, 3:1–43, 2002.

[73] Parque Escolar. Especificações técnicas de instalações especiais para projeto do edifício escolar. 2017.

[74] Diário da República. Decreto-Lei n.º 153/2014 - Diário da República n.º 202/2014, Série I de 2014-10-20 - DRE, 2014. URL: https://dre.pt/home/-/dre/58406974/details/maximized?print_preview=print-preview.

[75] Certiel. Guia Prático de Instalações de Micropodução. URL: https://www.certiel.pt/c/document_library/get_file?uuid=c76836cb-7304-492f-b442-8f60b1ab750c&groupId=10100.

[76] Certiel. Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (RTIEBT). páginas 1–411, 2006.