Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Análise da Qualidade de Energia Elétrica em Edifícios de Serviços e Comércio

Francisco Miguel Pimentel de Oliveira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: António Carlos Sepúlveda Machado e Moura (Prof. Dr.)
Co-orientador: Fernando Ramos (Eng.º)

26 de Fevereiro de 2016

© Francisco Miguel Pimentel de Oliveira, 2016

Resumo

A qualidade de energia elétrica tem sido alvo de muito interesse e discussão nos últimos anos, e cada vez mais as indústrias têm de lidar com este problema. A má qualidade de energia elétrica revela-se na faturação da energia reativa, nos disparos sucessivos de proteções, no sobreaquecimento ou sobrecarga dos equipamentos e condutores, na redução significativa da vida útil dos condensadores e nos fenómenos de ressonância com a rede.

Este trabalho académico apresenta como principal objetivo a análise e resolução de problemas que atualmente ocorrem nas instalações, em concreto num edifício de serviços e um outro, comercial. Foi efetuado um estudo, com suporte em bibliografia e trabalhos semelhantes existentes, acerca dos problemas mais comuns a surgir nas instalações, as suas causas e medidas corretivas de modo a mitigar ou até mesmo eliminar os mesmos.

Posteriormente, efetuou-se o levantamento dos equipamentos existentes na instalação, o que permitiu a definição dos locais a instalar o equipamento de monitorização, com o objetivo de analisar o comportamento da rede e seus equipamentos.

Durante o período da dissertação foram realizadas monitorizações aos quadros elétricos, em particular àqueles que melhor caraterizam a ligação às principais cargas da instalação e posterior análise da qualidade de energia, de forma a otimizar a mesma e melhorar a eficiência energética. Assim, foram realizados estudos pormenorizados com o analisador de rede GSC53N da HT ITALIA.

A análise dos dados recolhidos realizou-se através do software TOPVIEW, complementar ao analisador de rede, onde foi possível analisar graficamente as variáveis elétricas e problemas existentes na rede para posterior dimensionamento personalizado de baterias de condensadores para correção do fator de potência e filtros para a eliminação de correntes e tensões harmónicas. A análise dos resultados obtidos, teve em consideração diversos critérios decorrentes da legislação e normas existentes.

Com este trabalho, foi possível identificar os equipamentos poluidores da instalação e a definição dos locais de intervenção, sempre com o cuidado de corrigir as anomalias tendo em consideração o investimento necessário.

Palavras-Chave: Qualidade de Energia Elétrica, Distorção Harmónica, Energia Reativa, Correção do Fator de Potência, Filtro de Harmónicos.

Abstract

In recent years, the power quality has been the subject of much interest and more and more industries have to deal with this problem. The poor power quality is revealed in the billing of reactive energy, in successive electrical shot protections, in overheating or overloading of equipment and drivers. Also, it significantly reduces the life of capacitors and is responsible for resonance phenomena in the network.

The main objective of this academic work is to analyse and solve problems currently taking place on the premises of an office building as well as commercial one. A study, supported by similar existing references and similar works, was conducted on the most common problems to emerge on the premises, their causes and remedial measures to mitigate or even eliminate them.

Later on, an audit of the existing equipment at the facilities allowed the definition of the places to install monitoring equipment in order to analyse the behaviour of the network and its equipment.

The monitoring of electrical panels carried out during the dissertation aimed at improving both power quality and energy efficiency of the buildings, in particular their main loads.

Thus, detailed studies have been performed with the network analyser GSC53N of HT ITALIA.

The equipment used in the analysis of the collected data was supported by TOPVIEW *software*. It was possible to graphically analyse the electrical variables and problems on the network for later custom scaling capacitor banks to correct the power factor and filters for elimination of harmonic currents and voltages.

The analysis of the results took into account a number of criteria arising from the existing legislation and standards.

This work allowed the identification of equipment that pollutes the facilities as well as the definition of the intervention sites, always attentive to the correction of deficiencies and taking into account the investment required.

Keywords: *Power Quality, Harmonic Distortion, Reactive Power, Power Factor Correction, Harmonic Filter.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer ao Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, orientador deste trabalho, pela oportunidade dada em poder realizar a minha dissertação em ambiente empresarial em cooperação com a empresa MANVIA, SA sob a coorientação do Engenheiro Fernando Ramos. A ambos, um sincero agradecimento pela oportunidade de execução, simpatia, disponibilidade e todo apoio necessário à realização da mesma.

Em seguida, um especial agradecimento ao Engenheiro Tiago Fernandes, que acompanhou diariamente o trabalho desenvolvido, sempre disponível e sempre interessado na melhor resolução da tese de mestrado.

Também gostaria de agradecer, ao Prof. Dr. José Manuel Ribeiro Baptista, antigo Co-orientador do Engenheiro Tiago Fernandes, pela sua disponibilidade e amabilidade em receber-me, no sentido de melhor orientar a análise dos resultados obtidos, dada a sua experiência na área da Qualidade de Energia Elétrica.

Aos parceiros da MANVIA, nomeadamente à Engenheira Tatiana Ernesto, responsável pelo contrato de manutenção onde se realizou o projeto de monitorização das instalações elétricas, o meu sincero obrigado pela ajuda prestada e partilha de documentos necessários ao conhecimento pormenorizado das instalações.

Aos técnicos Fernando e Américo, que sempre me acompanharam pelas zonas técnicas das instalações, garantido sempre as melhores práticas de segurança dos equipamentos, e eu próprio, enquanto Mestrando de Engenharia com responsabilidades partilhadas pela Faculdade e a empresa MANVIA.

Aos meus pais, que me proporcionaram todas as condições necessárias para eu atingir esta etapa da minha vida e que são também eles, os responsáveis por tudo aquilo que eu sou hoje.

Finalmente, à minha namorada pela forma compreensiva e motivadora, que sempre demonstrou ao longo deste período, possibilitando a força e determinação à realização da maior prova académica realizada pela minha pessoa, até ao presente momento.

A todos, o meu muito obrigado!

Francisco Miguel Pimentel de Oliveira

Índice

Capítulo 1 ..... **1**

Introdução 1
1.1. Contexto e justificação do trabalho 1
1.2. Motivação e Objetivos 2
1.3. Estrutura da Dissertação 2

Capítulo 2 ..... **5**

Qualidade de Energia Elétrica 5
2.1. Campanha "A Qualidade de Serviço Cabe a todos" 7
2.2. Desequilíbrio de tensões 8
2.2.1. Consequências do desequilíbrio de tensões 9
2.2.2. Mitigação do desequilíbrio de tensões 11
2.3. Cavas de Tensão 12
2.3.1. Consequências das cavas de tensão 13
2.3.2. Sensibilidade dos equipamentos face às cavas 13
2.3.3. Mitigação das cavas de tensão 15
2.4. Flutuações ou oscilações de tensão (efeito "flicker") 15
2.4.1. Consequências das flutuações de tensão 16
2.4.2. Mitigação das flutuações de tensão 17
2.5. Oscilações de Frequência 18
2.5.1. Consequências das oscilações de frequência 18
2.5.2. Mitigação das oscilações de frequência 19
2.6. Sobretensões 19
2.6.1. Consequências das sobretensões 20
2.6.2. Mitigação das sobretensões 21
2.7. Distorção da forma de onda de tensão na presença de harmónicos 22
2.8. Energia reativa e o Fator de Potência 22
2.8.1. Faturação da energia reativa 23
2.8.2. Generalidades sobre a correção do fator de potência 24
2.8.3. Características das baterias de condensadores para a correção do Fator de Potência 26
2.8.4. Compensação Não Automática e Compensação Automática 27
2.8.4.1. Baterias de Condensadores de Capacidade Fixa 27
2.8.4.2. Baterias de Condensadores de Regulação Automática 28

Capítulo 3 ..... **33**

Distorção Harmónica 33
3.1. Origem do problema dos harmónicos 34
3.2. Classificação e quantificação da distorção harmónica 35
3.3. Indicadores essenciais da Distorção Harmónica 36
3.3.1. Taxa de distorção harmónica (THD) 36
3.3.2. Espectro harmónico 37

3.3.3. Fator de Potência 38
3.3.4. Correlação entre o fator de potência e a distorção harmónica 39
3.3.5. Fator de pico (crista) 40
3.4. Principais efeitos dos harmónicos em instalações elétricas 40
3.4.1. Aquecimento dos condutores elétricos 41
3.4.2. Sobreaquecimento do condutor neutro 41
3.4.3. Aumento da vibração e do ruído audível 42
3.4.4. Ressonância dos condensadores de compensação de energia reativa 42
3.4.5. Disparos nos dispositivos de proteção 42
3.4.6. Equipamentos eletrónicos 42
3.4.7. Equipamento de medição 43
3.4.8. Aumento de perdas (nos condutores, nas máquinas assíncronas, nos transformadores) 43
3.5. Impacto económico resultante dos efeitos da distorção harmónica 44
3.6. Mitigação/Eliminação da distorção harmónica 44
3.6.1. Sobredimensionamento de equipamentos 45
3.6.2. Separação de cargas 45
3.6.3. Transformadores com ligações especiais 45
3.7. Filtro de harmónicos 47
3.7.1. Filtro passivo (LC) 47
3.7.2. Filtro ativo 48
3.7.2.1. Filtro ativo paralelo 48
3.7.2.2. Filtro ativo série 50
3.7.3. Filtro ativo hibrido 50

Capítulo 4 53

Auditorias Energéticas e Descrição da Instalação 53
4.1. Eficiência Energética dos Edifícios 54
4.2. Objetivos de uma auditoria energética 56
4.3. Fases da Auditoria Energética 56
4.3.1. 1ª fase - Preparação da auditoria 56
4.3.2. 2ª fase - Intervenção no local 57
4.3.3. 3ª fase - Tratamento da informação 58
4.3.4. 4ª fase - Relatório da auditoria energética 58
4.4. Descrição da Instalação 59
4.4.1. Eletricidade 59
4.4.2. AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado 67
4.4.3. Equipamentos de elevação 72

Capítulo 5 73

Apresentação dos Resultados 73
5.1. Critérios de análise dos dados recolhidos 73
5.1.1. Critério 1 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão (THDV) 73
5.1.2. Critério 2 – Valor máximo de distorção harmónica de corrente THDI e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de corrente 74
5.1.3. Critério 3 – Valor máximo dos harmónicos de tensão 75
5.1.4. Critério 4 - Compensação de energia reativa 75
5.1.5. Critério 5 – Instalação/medição do equipamento de análise da energia elétrica 76
5.2. Análise dos dados recolhidos 77
5.2.1. Q.G.S.C (CC) - Quadro Geral Serviços Comuns Galeria Comercial 77
5.2.2. Q.G.S.C. (ESC – Geral Normal) - Quadro Geral Serviços Comuns (Edifício – circuito geral normal) 81
5.2.3. Q.G.S.C. (ESC – Elevadores) - Quadro Geral Serviços Comuns (Edifício – circuito elevadores) 85
5.2.4. Q.E.A.C. (CC) - Quadro Elétrico Ar Condicionado Galeria Comercial 88
5.2.5. Q.G.G.-1 - Quadro Geral Garagem Piso -1 90

5.2.6. Q.G.S.C.-1 - Quadro Geral Serviços Comuns Piso -1 93
5.3. Análise das faturas de energia 97
5.4. Correção do Fator de Potência 99
5.5. Dimensionamento de filtros 101
5.5.1. Dimensionamento técnico 102
5.5.2. Dimensionamento económico 103

Capítulo 6 107

Conclusão 107
6.1. Trabalhos futuros 108

Anexos 109

Equipamento de análise 109

Certificado de Calibração do equipamento 111

Software de Análise – TOPVIEW 121

Diagrama de Energia das Instalações 125

Referências 127

Lista de figuras

Figura 2.1 – Sistemas trifásicos equilibrado (à esquerda) e desequilibrado (à direita) [3] 9

Figura 2.2 - Sistemas básicos de tensões [5] 11

Figura 2.3 - Exemplo de uma cava de tensão [5] 12

Figura 2.4 - Cálculo aproximado da tensão residual de defeito numa rede radial [4] 14

Figura 2.5 - Exemplo de flutuação de tensão [5] 16

Figura 2.6 - Exemplo de variação de frequência de tensão [5] 19

Figura 2.7 – Exemplo de Harmónicos [7] 22

Figura 2.8 - Representação vetorial das componentes reativa e indutiva da corrente [10] 24

Figura 2.9 - Representação vetorial da potência aparente [10] 25

Figura 2.10 - Compensação Global nas saídas de BT [12] 29

Figura 2.11 - Compensação Parcial em cada zona/área [12] 30

Figura 2.12 - Compensação Individual nos bornes de cada recetor de tipo indutivo [12] 30

Figura 3.1 - Exemplos de formas de onda de corrente distorcidas [13] 34

Figura 3.2 - Forma de onda de uma carga linear [5] 34

Figura 3.3 - Forma de onda de uma carga não linear [5] 35

Figura 3.4 - Caraterização dos sinais harmónicos [3] 35

Figura 3.5 - Exemplo do espectro harmónico de um sinal [5] 38

Figura 3.6 –Variação do $FP\cos\varphi$ em função da $THDi$ [5] 39

Figura 3.7 – Exemplo de distorção de um sinal de corrente. (a) Sinal sinusoidal sem distorção FP = 2 , (b) Sinal distorcido com FP = 3 [5] 40

Figura 3.8 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 3° harmónico e seus múltiplos [5] 46

Figura 3.9 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 5° e 7° harmónico e múltiplos [5] 46

Figura 3.10 - Filtros passivos de harmónicos [3] 48

Figura 3.11 - Filtro ativo paralelo (exemplo de operação) [7] 49

Figura 3.12 - Esquema de um filtro ativo paralelo [7] 49

Figura 3.13 - Esquema de um filtro ativo série [7] 50

Figura 3.14 - Filtro ativo hibrido [15] 51

Figura 4.1- Exemplo de certificado energético [21] 55

Figura 4.2 - Diagrama de alimentação e distribuição de energia [23] 60

Figura 5.1 – Modo de instalação do equipamento de análise [24] 76

Figura 5.2 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C. (CC) 78

Figura 5.3 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C. (CC) 78

Figura 5.4 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C. (CC) 79

Figura 5.5 - Gráfico de Potências medidas no Q.G.S.C. (ESC - Geral) 81

Figura 5.6 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C. (ESC. – Geral) 82

Figura 5.7 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C. (ESC – Geral) 82

Figura 5.8 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C. (ESC – Geral) 83

Figura 5.9 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C (ESC – Elevadores) 85

Figura 5.10 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C (ESC – Elevadores) 86

Figura 5.11 - Gráfico de Correntes medidas no Q.E.A.C (CC) 88

Figura 5.12 - Gráfico de THDV medida no Q.E.A.C. (CC) 89

Figura 5.13 - Gráfico de THDI medida no Q.E.A.C. (CC) 89

Figura 5.14 – Gráfico de Correntes medidas no Q.G.G.-1 91

Figura 5.15 - Gráfico de THDI medida no Q.G.G.-1 92

Figura 5.16 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C.-1 94

Figura 5.17 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C.-1 94

Figura 5.18 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C.-1 95

Figura 5.19 - Exemplo de fatura de energia (consumo de energia reativa) 97

Figura 5.20 – Gráfico dos termos de energia reativa (recolhidos das faturas de energia) 98

Figura 5.21 – Fator de Potência registado no Q.G.S.C. (CC) 100

Figura 5.22 – Fator de Potência registado no Q.E.A.C. (CC) 101

Figura 5.23 - Relação de Preços entre os fornecedores.....104

Figura A.1 - Equipamento de Análise HT GSC53N [24] 109

Figura A.2 – Caraterísticas técnicas do equipamento de medição [24] 111

Figura A.3 – Certificado de Calibração (página 1) [27].....112

Figura A.4 - Certificado de Calibração (página 2) [27].....113

Figura A.5 - Certificado de Calibração (página 3) [27].....114

Figura A.6 - Certificado de Calibração (página 4) [27].....115

Figura A.7 - Certificado de Calibração (página 5) [27].....116

Figura A.8 - Certificado de Calibração (página 6) [27].....117

Figura A.9 - Certificado de Calibração (página 7) [27].....118

Figura A.10 - Certificado de Calibração (página 8) [27] 119

Figura A.11 - Certificado de Calibração (página 9) [27] 120

Figura A.12 - Vista genérica do software 121

Figura A.13 – Emparelhamento do equipamento 121

Figura A.14 - Seleção da gravação de dados a analisar 122

Figura A.15 - Representação gráfica, ao longo do tempo, do parâmetro selecionado 123

Figura A.16 – Diagrama de alimentação e distribuição de energia [23].....125

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação das cavas de tensão [1] 14

Tabela 2.2 - Caraterísticas típicas de sobretensões nas redes elétricas [3]..... 20

Tabela 2.3 - Classificação das sobretensões [1] 21

Tabela 2.4 - Valores limite e respetivo fator multiplicador de faturação de energia reativa [9] 23

Tabela 2.5 - Correspondência entre o fator de potência e a tangente 26

Tabela 4.1 - Quadros Elétricos do Edifício 61

Tabela 4.2 - Quadros elétricos da Galeria Comercial 64

Tabela 4.3 - Quadros elétricos do Parque de Estacionamento 66

Tabela 4.4- Baterias de condensadores instaladas no local 67

Tabela 4.5 - Bombas de Abastecimento de Águas Cisternas 68

Tabela 4.6 – Bombas de Água de Incêndio..... 68

Tabela 4.7 - Bombas de Águas Pluviais 68

Tabela 4.8 – Bombas de Águas Residuais 69

Tabela 4.9 - Bombas de Calor e Frio 69

Tabela 4.10 – Ventiladores de Pressurização 70

Tabela 4.11 – Ventiladores de Insuflação..... 70

Tabela 4.12 – UTAS (Unidades de Tratamento de Ar) 71

Tabela 4.13 - Ventiladores de Extração 71

Tabela 4.14 – Equipamentos de elevação presentes nas instalações 72

Tabela 5.1 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão [14] 73

Tabela 5.2 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de corrente e máximo valor das correntes harmónicas individuais [14] 74

Tabela 5.3 - Valores das tensões harmónicas de tensão [1] 75

Tabela 5.4 - Intervalos de faturação da energia reativa [9] 75

Tabela 5.5 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C. (CC) 80

Tabela 5.6 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.P.0 (CC) 80

Tabela 5.7 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.S.C. (CC) 80

Tabela 5.8 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C (ESC – Geral) 84

Tabela 5.9 – Harmónicos de Tensão registado no Q.G.S.C (ESC – Geral) 84

Tabela 5.10 - Harmónicos de Corrente registado no Q.G.S.C (ESC – Geral) 84

Tabela 5.11 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C (ESC – Elevadores) 86

Tabela 5.12 – Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C (ESC – Elevadores) 87

Tabela 5.13 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C (ESC – Elevadores) 87

Tabela 5.14 - THDV e THDI registado no Q.E.A.C. 89

Tabela 5.15 – Harmónicos de Tensão registados no Q.E.A.C. (CC) 90

Tabela 5.16 - Harmónicos de Corrente registados no Q.E.A.C. (CC) 90

Tabela 5.17 - THDV e THDI registados no Q.G.G.-1 92

Tabela 5.18 – Harmónicos de Tensão registados no Q.G.G.-1 93

Tabela 5.19 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.G.-1 93

Tabela 5.20 - THDV e THDI registados no Q.G.S.C.-1 96

Tabela 5.21 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C.-1 96

Tabela 5.22 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.S.C.-1 96

Tabela 5.23 – Preços dos termos de energia reativa Capacitiva e Indutiva 98

Tabela 5.24 - Informação técnica e distribuição das baterias de condensadores existentes nas instalações do cliente 99

Tabela 5.25 – Compensação de Energia Reativa com base na correção do fator de potência 100

Tabela 5.26 – Valores de corrente instalada nos quadros elétricos 103

Tabela 5.27 - Valores de corrente medidos na análise efetuada aos quadros elétricos 103

Tabela 5.28 – Dimensionamento económico com base nos valores de corrente instalada nos quadros elétricos 104

Tabela 5.29 – Dimensionamento económico com base nos valores de corrente medida nos quadros elétricos 105

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
DL	Decreto-Lei
DVR	*Dynamic Voltage Restorers*
EEE	Eficiência Energética dos Edifícios
EPBD	*Energy Performance of Buildings Directive*
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FP	Fator de Potência
MANVIA	Manutenção e Exploração de Instalações e Construção, S.A
MT	Média Tensão
QAI	Qualidade do ar interior
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RQS	Regulamento de Qualidade de Serviço
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios
RT	Regulamento Tarifário
SCE	Sistema de Certificação Nacional
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SI	Serviço de Incêndio
T&D	Transporte e Distribuição
THD	Taxa de Distorção Harmónica
THDI	Taxa de Distorção Harmónica de Corrente
THDV	Taxa de Distorção Harmónica de Tensão
TI	Tecnologias de Informação

TIM	Técnico Instalação e Manutenção
TRF	Técnico Responsável pela Manutenção e Instalação
UE	União Europeia
UTA	Unidade Tratamento de ar
VEV	Variador Eletrónico de Velocidade

Lista de símbolos

φ	Ângulo de fase
€	Euro
º	Grau
∞	Infinito
±	Mais ou menos
%	Percentagem

Capítulo 1

Introdução

1.1. Contexto e justificação do trabalho

No âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, apresenta-se o seguinte trabalho académico com vertente empresarial, acompanhado da empresa MANVIA - Manutenção e Exploração de Instalações e Construção, SA.

Nos últimos anos, tem-se assistido à proliferação de equipamentos eletrónicos que, por um lado são geradores de perturbações, e por outro são muito sensíveis à qualidade do produto eletricidade.

Este problema, tem vindo a afetar a qualidade de energia das instalações e nesse sentido, tem-se tornado necessário definir critérios de avaliação da qualidade do produto energia elétrica, relacionando-os com os limites de admissibilidade de perturbações aceitáveis pelos equipamentos de utilização.

Neste sentido, torna-se cada vez mais importante a realização de estudos e recolha de dados para análise, possibilitando assim tornar as instalações cada vez mais eficientes, com baixos consumos energéticos e protegidas de distúrbios elétricos, minimizando o número e duração das avarias.

Através de uma parceria acordada pela faculdade e a empresa, foi proposto o tema: "Análise da Qualidade de Energia em Edifícios de Serviços e Comércio", no sentido de se estudar o comportamento elétrico das instalações de um edifício comercial e de serviços localizado na zona da Boavista, Porto. A escolha deste tema para a dissertação, é justificada pela existência de alguns problemas a nível de qualidade de energia, sabendo que as instalações são compostas por diversos equipamentos de alguma complexidade e com alguns anos de funcionamento.

1.2. Motivação e Objetivos

As motivações que levaram à realização deste trabalho prendem-se com a minha vontade em completar alguma prática no exercício como futuro engenheiro eletrotécnico, daí ter comunicado em primeiro lugar com o meu orientador Prof. Dr. António Machado e Moura a escolha de um tema de tese em ambiente empresarial. A escolha do tema de trabalho está também relacionada com uma das áreas de negocio da MANVIA, nomeadamente, manutenção de edifícios. Trata-se de uma área, onde é possível aplicar todo o meu conhecimento académico, adquirido nestes últimos anos enquanto estudante de engenharia da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. É neste contexto que assenta a grande motivação deste trabalho.

Os objetivos principais deste trabalho desenvolvem-se em quatro áreas:

- Efetuar o levantamento de informação pertinente e analisar os problemas associados ao equipamento existente num edifício de grande complexidade, em função da qualidade de energia elétrica recebida;
- Estudar os equipamentos poluidores internos;
- Apresentar instrumentos de resolução do problema proposto;
- Elaborar conclusões.

1.3. Estrutura da Dissertação

Para além deste capítulo introdutório, que contextualiza o trabalho que se vai desenvolver, esta dissertação contém mais cinco capítulos, cujos conteúdos se descrevem de seguida.

No segundo capítulo é descrito os principais e mais comuns tipos de perturbações que afetam as instalações. Para cada tipo de perturbação analisada são apresentadas as possíveis causas e as consequências mais comuns nas instalações e nos equipamentos. São também apresentadas as medidas corretivas a tomar, no sentido de se reduzir o seu impacto tendo em consideração as normas e a legislação em vigor.

No terceiro capítulo é abordada a distorção harmónica, sob a forma de análise teórica dos problemas provocados pelos harmónicos e as soluções capazes de mitigar ou eliminar este tipo de problemas. Dado este tipo de perturbação ser o principal objeto desta tese, é ainda realizado um estudo sobre a forma de mitigação/eliminação dos harmónicos sendo então efetuada a descrição das diferentes tipologias dos filtros harmónicos.

O quarto capítulo é referente às auditorias energéticas dos edifícios. Dado as instalações em análise se tratarem de dois edifícios, uma da área comercial e outro de serviços, é também importante estudar o processo de análise do comportamento energético dos edifícios. Assim, pretende-se neste capítulo expor a forma com é preparada e como decorre uma auditoria energética. Ainda no mesmo capítulo, é realizada uma descrição detalhada a nível de equipamentos de eletricidade, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e sistemas de elevação, que compõem a maioria dos equipamentos presentes nas instalações, sujeitos aos distúrbios apresentados no anterior capítulo.

O quinto capítulo é essencialmente um capítulo de trabalho de campo, onde é exposto todo o trabalho analisado com base nas medições realizadas aos quadros elétricos. É neste capítulo, que se define em primeiro lugar, os critérios de análise dos dados recolhidos, tendo por base a legislação e normas existentes e posteriormente a exposição gráfica e numérica dos resultados

obtidos e a sua avaliação. Com base na descrição dos resultados obtidos, é ainda apresentado um conjunto de soluções que passa pelo dimensionamento técnico/económico de filtros de harmónicos e também uma análise conjunta da correção do fator de potência em correlação com a análise das faturas de energia.

Finalmente, o sexto capítulo traça as conclusões gerais deste trabalho, onde é possível concluir quais as melhores formas de corrigir os problemas encontrados nas instalações, assim como algumas perspetivas de desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2

Qualidade de Energia Elétrica

A definição do produto Eletricidade merece uma atenção especial. É um produto de características diferentes daquelas que normalmente associamos a bem de consumo.

A energia elétrica é essencial para o desenvolvimento da generalidade dos setores de atividade. Trata-se de um "produto" pouco convencional, dada a dificuldade de armazenamento eficiente e a necessidade de controlo de qualidade praticamente em "tempo real" [1]. Outra das características particulares do produto eletricidade é a possibilidade de o consumidor receber este bem ao mesmo tempo que o deteriora, contribuindo simultaneamente para degradar a "eletricidade" recebida pelos seus vizinhos.

Durante dezenas de anos, a grande maioria dos recetores ligados às redes de energia elétrica consistiam em cargas lineares. Por essa razão, uma vez que as tensões da alimentação são sinusoidais, as correntes consumidas eram também sinusoidais e da mesma frequência, podendo apenas encontrar-se desfasadas relativamente à tensão.

Com o desenvolvimento da eletrónica de potência, os equipamentos ligados aos sistemas elétricos evoluíram, melhorando em rendimento, controlabilidade e custo, permitindo ainda a execução de tarefas não possíveis anteriormente. Contudo, esses equipamentos têm a desvantagem de não funcionarem como cargas lineares, consumindo correntes não sinusoidais, e dessa forma "poluindo" a rede elétrica com harmónicos.

Os prejuízos económicos resultantes destes e de outros problemas dos sistemas elétricos são muito elevados, e por isso a questão da qualidade da energia elétrica entregue aos consumidores finais é hoje, mais do que nunca, objeto de grande preocupação [2].

Qualidade é um conceito para o qual não é muito fácil apresentar uma definição clara e objetiva. Contudo, parece existir um consenso generalizado de que "a qualidade é a adequação de determinado bem ou serviço à sua finalidade ou uso" [1].

No domínio elétrico, pode considerar-se que a energia fornecida por um sistema elétrico tem qualidade quando garante o funcionamento do equipamento elétrico, sem que se verifiquem alterações de desempenho significativas.

Para um utilizador doméstico a qualidade mede-se fundamentalmente de uma forma empírica, usando a maior parte das vezes a iluminação como instrumento de análise. Há luz ou não há luz, dizemos muitas vezes. Para um utilizador industrial, para um hospital ou para um grande edifício do setor terciário os critérios que definem a qualidade são completamente

diferentes. Múltiplas perturbações implicam funcionamentos incorretos de diferentes equipamentos, pelo que se torna indispensável caracterizar e definir essas perturbações.

O conceito de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) tem vindo a sofrer alterações sucessivas com a evolução tecnológica. Ainda há poucos anos, quando se falava em QEE, a principal preocupação residia na continuidade de serviço, ou seja, na duração e no número de interrupções de tensão. Contudo, para além da continuidade de serviço, têm vindo a assumir importância outros parâmetros de QEE, tais como, a amplitude e a frequência da tensão, o desequilíbrio de tensões e a distorção harmónica [1].

Nenhum destes fenómenos é novo, mas o seu estudo tem vindo a despertar um crescente interesse. A proliferação de dispositivos eletrónicos ao nível dos sistemas informáticos, Variadores Eletrónicos de Velocidade (VEV), controladores lógicos programáveis, circuitos de iluminação e eletrodomésticos alterou radicalmente a natureza da carga dos sistemas elétricos. Estes dispositivos eletrónicos são frequentemente os grandes causadores e as principais vítimas das perturbações de QEE.

Paralelamente aos avanços tecnológicos, a economia mundial tem vindo a evoluir no sentido de uma maior dependência da energia elétrica. Tendo em consideração o aumento da sensibilidade do equipamento a perturbações de QEE, de reduzida severidade, e as baixas margens de lucro das organizações, a garantia de elevada QEE constitui um fator crucial para a competitividade das organizações em mercados globalizados. A este nível, apresenta-se especialmente crítica a indústria baseada em processos contínuos de produção e a indústria com elevada penetração de Tecnologias de Informação (TI). Neste contexto, é fundamental proteger adequadamente os processos críticos destas indústrias para que as perturbações de QEE, de reduzida severidade, não conduzam a prejuízos avultados e à diminuição dos níveis de produtividade [1].

Aproximadamente 80% das perturbações de QEE têm origem nas instalações dos clientes. As principais causas devem-se a fatores como a ligação da rede de grandes cargas, harmónicas, sobrecarga de circuitos... A restante percentagem de perturbações de QEE, têm origem nos sistemas de Transporte e Distribuição (T&D). As causas mais comuns são as descargas atmosféricas, os acidentes sobre as linhas provocados pelo derrube de árvores, por animais, por uma manutenção pouco cuidada ou por negligência e erro humano.

Embora o Regulamento de Qualidade de serviço (RQS) tenha vindo a clarificar especificamente qual o nível de QEE que o distribuidor é obrigado a fornecer, nem sempre este nível está de acordo com as exigências dos processos de produção atuais [3].

Tendo em conta o que já foi mencionado surge então a necessidade de identificar as principais perturbações da rede/instalações:

- Variações do módulo de tensão;
- Variações de frequência;
- Desequilíbrios das tensões;
- Poluição harmónica;
- Flutuações rápidas e cíclicas de tensão (efeito “flicker”);
- Ocos (cavas) de tensão e micro-cortes.

Para se corrigir este tipo de perturbações, é necessário que os proprietários das instalações estejam predispostos a realizar grandes investimentos, o que por vezes, não estão disponíveis para o fazer.

No sentido de regulamentar as perturbações existentes a nível de qualidade de energia, foi criada uma norma Europeia, a EN 50160 [4] que define e descreve quais os parâmetros essenciais a controlar, sendo que das perturbações já mencionadas, a norma apenas considera as seguintes:

- Desequilíbrio de tensão;
- Ocos (cavas de tensão);
- Variações rápidas e cíclicas de tensão (efeito "flicker");
- Oscilações e variações de frequência;
- Sobretensões;
- Distorção de onda de tensão decorrente da presença de harmónicos.

A norma ajuda-nos a definir e caracterizar essas perturbações, mas não responde a um conjunto de perguntas que se colocam no dia-a-dia:

- Qual é o impacto das perturbações nas instalações elétricas?
- Quais são as perturbações relevantes e prováveis?
- Que prioridade dar à implementação de sistemas de monitorização da qualidade da energia e da onda de tensão?

Estas perguntas não têm uma resposta fácil, ou sequer uma única resposta. A monitorização da qualidade da energia e da onda de tensão em instalações é uma ferramenta muito útil que nos permite ganhar experiência na avaliação do impacto das perturbações em sistemas de energia.

De seguida, passa-se a descrever em pormenor estas perturbações, os efeitos que as mesmas provocam e as soluções possíveis para mitigar ou até mesmo eliminar os distúrbios.

Antes desta descrição convém também perceber o conceito de funcionamento normal, que na Norma EN 50160 [4] é descrito como sendo a condição de funcionamento de uma rede elétrica em condições em que as necessidades de carga e produção são efetuadas, que todas as manobras necessárias são executadas para o bom funcionamento e que as proteções atuam quando necessário, salvo perturbações temporárias e intempestivas como por exemplo:

- Condições de alimentação provisória;
- Condições climáticas excecionais;
- Perturbações provocadas por terceiros;
- Perturbações provocadas por causas externas;

2.1. Campanha "A Qualidade de Serviço Cabe a todos"

Atualmente, está a decorrer uma campanha promovida pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) com o nome de "A Qualidade de Serviço Cabe a Todos" que tem por objetivo criar uma rede de parcerias com instituições-chave do Sistema Elétrico Nacional, no sentido de sensibilizar os utilizadores das redes elétricas de que a melhoria da qualidade de serviço deve contar com a contribuição de todos, sendo uma responsabilidade global.

A qualidade de serviço prestada pelos operadores das redes elétricas e pelos comercializadores de eletricidade aos clientes envolve assuntos como cortes de energia elétrica, a qualidade da energia fornecida ou a qualidade da interação com os clientes [5].

A qualidade de serviço de natureza técnica no setor elétrico é caracterizada de acordo com as seguintes vertentes:

- **Continuidade de Serviço**

Associada à fiabilidade do fornecimento da energia elétrica, sendo avaliada através da frequência e da duração das interrupções de fornecimento.

- **Qualidade de Energia Elétrica**

Associada às características da tensão de alimentação, tendo em consideração nomeadamente os fenómenos contínuos de tensão (variação do valor eficaz, variação de frequência, severidade da tremulação, desequilíbrio de tensões, distorção harmónica, etc.) e eventos de tensão (cavas de tensão e sobretensões).

A regulação da qualidade de serviço é definida através do Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS) e do Regulamento Tarifário (RT).

O RQS estabelece regras que definem, e procuram garantir, um nível mínimo da qualidade de serviço prestada aos clientes, nomeadamente através de disposições relativas a [6]:

- Competências, responsabilidades e obrigações das entidades envolvidas;
- Indicadores e padrões de qualidade de serviço;
- Compensações a pagar quando os indicadores individuais não são cumpridos;
- Clientes com necessidades especiais e clientes prioritários.

2.2. Desequilíbrio de tensões

Segundo a Norma EN 50160 [1] o desequilíbrio de tensão corresponde à condição num sistema polifásico em que os valores eficazes das tensões ou os ângulos de desfasamento entre fases consecutivas não são todas iguais.

Os desequilíbrios podem ser definidos como o desvio máximo da média das correntes ou tensões trifásicas, dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expressa em percentagem. As origens destes desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativas. Este problema agrava-se quando consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga nos seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária [2].

Tais fatores fazem com que a qualidade no fornecimento de energia seja prejudicada, e alguns consumidores tenham na sua alimentação um desequilíbrio de tensão. Estes desequilíbrios de tensão podem apresentar problemas indesejáveis na operação de equipamentos, dentre os quais se destacam:

- Motores de indução;
- Máquinas síncronas;
- Retificadores.

Nas situações em que as tensões de um sistema trifásico apresentam amplitudes diferentes ou desfasamento assimétrico, diferente de 120° , considera-se que o sistema é desequilibrado ou assimétrico, tal como ilustrado no gráfico da figura 2.1 à direita.

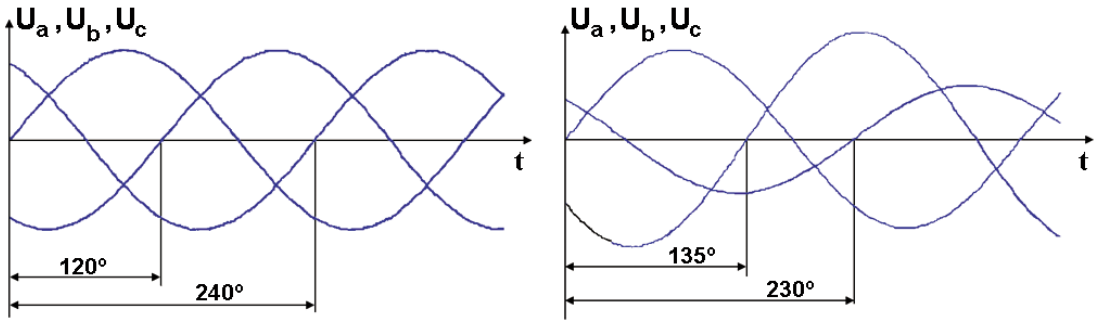

Figura 2.1 – Sistemas trifásicos equilibrado (à esquerda) e desequilibrado (à direita) [3]

2.2.1. Consequências do desequilíbrio de tensões

O desequilíbrio dos sistemas trifásicos de tensões afeta essencialmente o desempenho de equipamentos trifásicos, tais como, motores de indução e transformadores. Os problemas mais comuns apresentam-se em:

- Sobrecargas nos condutores;
- Sobreaquecimento nas maquinas rotativas;
- Diminuição na capacidade de transporte das canalizações elétricas;
- Mau funcionamento de sistemas eletrónicos.

Estes distúrbios provocados pela má distribuição das cargas, leva a um desequilíbrio nas fases, que por sua vez origina um aumento da corrente de neutro.

Apresenta-se de seguida alguns exemplos, de problemas resultantes do desequilíbrio de tensões.

Para a análise dos efeitos de tensões desequilibradas aplicadas ao motor de indução considera-se somente os efeitos produzidos pelas tensões de sequência negativa, que somados aos resultados da tensão de sequência positiva, resultam no sobreaquecimento da máquina. Como consequência direta desta elevação de temperatura tem-se a redução do tempo de vida útil dos motores, visto que o material isolante sofre deterioração mais acentuada na presença de elevada temperatura nos enrolamentos [2].

Quanto às máquinas síncronas, como no caso anterior, a corrente de sequência negativa fluindo através do estator de uma maquina síncrona, cria um campo magnético no estator com velocidade igual ao do rotor, porém no sentido contrario ao de rotação definido pela sequência positiva. Consequentemente, as tensões e correntes induzidas nos enrolamentos de campo, de amortecimento e na superfície do ferro do rotor, terão uma frequência igual a duas vezes da rede aumentando significativamente as perdas no rotor [2].

Já quanto aos retificadores, uma ponte retificadora AC/DC, injeta na rede corrente alternada, quando esta opera sob condições nominais, correntes harmónicas características (da ordem 5, 7, 11, 13, etc.). Entretanto, quando o sistema supridor se encontra desequilibrado,

os retificadores passam a gerar, além das correntes harmónicas características, o terceiro harmónico e seus múltiplos. A presença do terceiro harmónico e os seus múltiplos no sistema elétrico é extremamente indesejável, pois possibilita manifestação de ressonâncias não previstas, causando danos a uma série de equipamentos [2].

Para se efetuar uma análise/avaliação dos desequilíbrios entre tensões, é necessário conhecer os parâmetros necessários a execução da mesma.

Segundo a Norma EN50160 [1], os desequilíbrios de tensão deverão ser analisados, em condições normais de funcionamento, durante cada período de uma semana, em que 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos da componente inversa (fundamental) da tensão de alimentação se devem encontrar no intervalo de 0 a 2% da componente direta (fundamental) correspondente. Neste sentido convém perceber o sentido das componentes indicadas.

Desequilíbrio de Tensão é, portanto, o desvio, em sistemas trifásicos, nos módulos e/ou ângulos das tensões em relação à condição equilibrada que é caracterizada pela igualdade dos módulos e desfasagem de 120° entre si e com uma sequencia anti-horário.

Considerando um sistema trifásico com tensões U_1, U_2, U_3 e decompondo a tensão nas suas componentes direta, inversa e homopolar, tem-se o seguinte [4]:

- Grau de desequilíbrio inverso (u_u)= $\frac{U_i}{U_d}$ (2.1)

- Grau de desequilíbrio homopolar $(u_h) = \frac{U_0}{U_d}$ (2.2)

Sendo:

U_i - Componente inversa da tensão

U_d - Componente direta da tensão

U_0 - Componente homopolar da tensão

α - Operador cujo valor é igual a : - $\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j120°} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$

Tendo então que:

- $\underline{U_1} = \underline{U_d} + \underline{U_i} + \underline{U_0}$ (2.3)
- $\underline{U_2} = \alpha^2\underline{U_d} + \alpha\underline{U_i} + \underline{U_0}$ (2.4)
- $\underline{U_3} = \alpha\underline{U_d} + \alpha^2\underline{U_i} + \underline{U_0}$ (2.5)

Daí têm-se:

- $\underline{U_{12}} = \underline{U_1} - \underline{U_2} = \underline{U_d}(1-\alpha^2) + \underline{U_i}(1-\alpha)$ (2.6)
- $\underline{U_{23}} = \underline{U_2} - \underline{U_3} = \underline{U_d}(\alpha^2-\alpha) + \underline{U_i}(\alpha - \alpha^2) = \alpha\left(\underline{U_d}(\alpha - 1) + \underline{U_i}(1-\alpha)\right)$ (2.7)
- $\underline{U_{12}} = -\frac{\underline{U_{23}}}{\alpha} = -\underline{U_d}(-2+\alpha^2+\alpha)$ (2.8)

Obtendo a componente direta e inversa:

- $\underline{U_d} = \frac{\underline{U_{12}} - \underline{U_{23}}\alpha^2}{3}$ (2.9)

- $\underline{U_i} = \frac{\underline{U_{12}} - \underline{U_{23}}\alpha}{3}$ (2.10)

A figura 2.2 representa graficamente os três sistemas, direto, inverso e homopolar, enquanto as equações 2.1 e 2.2 os descrevem matematicamente.

As amplitudes dos vetores em cada sistema, podem ser calculadas em função do sistema original (U_1, U_2, U_3),mediante as expressões matemáticas 2.3, 2.4 e 2.5, em que α é um operador unitário que gira 120°.

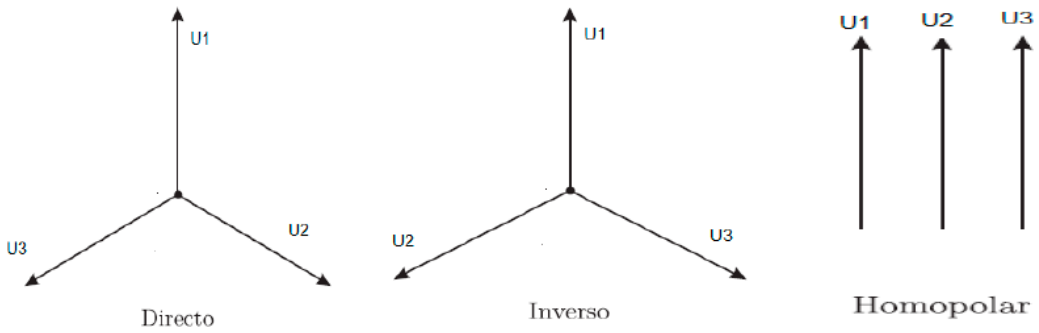

Figura 2.2 - Sistemas básicos de tensões [5]

- **Sistema direto** - Trata-se de um sistema trifásico equilibrado que é síncrono com o sistema de origem;
- **Sistema inverso** - É um sistema trifásico equilibrado, mas oposto ao sistema de origem;
- **Sistema homopolar** - É um sistema constituído por três vetores cujos módulos e direções são iguais.

2.2.2. Mitigação do desequilíbrio de tensões

Para a diminuição do desequilíbrio dos sistemas trifásicos de tensões podem ser adotadas várias medidas, com diferentes graus de complexidade técnica, tais como:

- Redistribuição das cargas;
- Utilização de um regulador automático de tensão;
- Aumento da potência de curto-circuito;
- Transformadores com ligações especiais.

2.3. Cavas de Tensão

As cavas de tensão são descritas como uma diminuição brusca do valor eficaz da tensão de alimentação para valores entre 90% e 1% da tensão nominal ou declarada, seguida do seu restabelecimento depois de um curto intervalo de tempo.

De acordo com a norma NP 50160 [1], a duração das cavas de tensão está compreendida entre 10 milissegundos e 1 minuto.

Não está estabelecido o número típico de cavas numa instalação, embora se admita como altamente provável esperar um número de cavas entre as dezenas e um milhar por ano. Note-se que as cavas são a definição de um fenómeno que muitas vezes descrevemos como micro-cortes.

Dada a maior incidência de cavas de tensão, em determinadas instalações sensíveis, este fenómeno pode resultar de consequências económicas significativamente mais graves que as interrupções de tensão.

A origem das cavas de tensão está normalmente associada a defeitos de isolamentos nos sistemas de T&D e nas instalações do cliente. Por exemplo, é bem conhecido o fenómeno da variação de tensão provocada pelo arranque de um motor de potência muito elevada. Este fenómeno tem sido ultrapassado com a separação de circuitos e a colocação de transformadores dedicados ao arranque de motores de potência elevada.

As cavas de tensão também podem ser originadas devido a problemas nos equipamentos reguladores de tensão, devido a ocorrência de curto-circuitos na própria instalação em que a tensão cai para valores muito próximos de zero e os que ocorrem com alguma frequência, nas redes de transporte e distribuição, provocados pela ocorrência de descargas atmosféricas, existência de neve e gelo, erros de operação e incêndios.

De seguida, mostra-se um exemplo de uma cava de tensão.

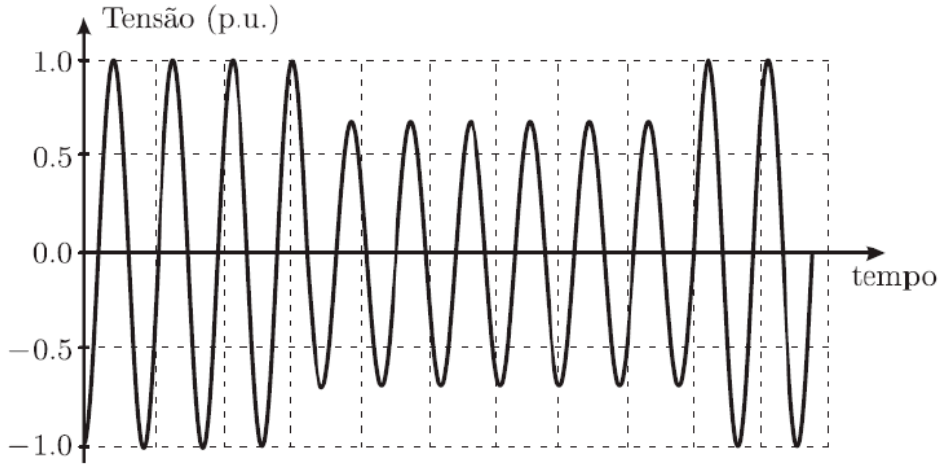

Figura 2.3 - Exemplo de uma cava de tensão [5]

2.3.1. Consequências das cavas de tensão

Estas perturbações acarretam graves problemas para o funcionamento de uma unidade industrial, não se limitando ao período reduzido em que têm lugar. A eventual paragem de processos industriais traz problemas bastante mais graves, dada a possibilidade de destruição dos produtos em curso de fabrico e/ou a necessidade de reiniciar sequências de produção que podem envolver processos demorados e complexos [4].

Nesta situação os prejuízos técnicos e económicos nas unidades industriais podem ser extremamente graves.

De entre as principais consequências destas perturbações podemos indicar:

- Paragem momentânea de motores;
- Paragem de processos industriais comandados por computador por perda informação e comunicação;
- Perdas de informação em equipamentos informáticos.

2.3.2. Sensibilidade dos equipamentos face às cavas

A sensibilidade de equipamentos elétricos e eletrónicos face às cavas pode ser encontrada sob a forma dos seguintes exemplos:

- Os contactores são tipicamente sensíveis a cavas < 50% de Uc durante mais de 100 milissegundos;
- Nas redes de comunicação, os Field Bus são tipicamente sensíveis a cavas < 80% de Uc durante 40 milissegundos;
- Os variadores de velocidade (potência > 25 kW) são sensíveis a cavas < 90% de Uc durante 60 milissegundos.

Esta lista é muito grande. Para qualquer equipamento eletrónico é possível estabelecer esta relação. Como hoje em dia, qualquer instalação industrial está suportada por equipamentos eletrónicos, é possível avaliar o enorme impacto que estes eventos têm na atividade produtiva.

No sentido de melhor se analisar este tipo de perturbações, será apresentado de seguida um conjunto de parâmetros da qual a mesma depende [1] :

- **Cava de tensão** – Limite de arranque igual a 90% da tensão de referência;
- **Duração da cava de tensão** – Duração no intervalo de 10 milissegundos a 1 minuto (inclusive);
- **Limiar final da cava de tensão** – Valor eficaz da tensão que define o final da cava;
- **Tensão residual da cava de tensão** – Valor mínimo registado durante a cava;
- **Limiar de início da cava de tensão** – Valor eficaz de tensão que define o inicio da cava.

A profundidade de uma cava de tensão é dada em % por:

- $\Delta U = \frac{U_r}{U_N}$ (2.11)

Onde:

- U_r - Valor eficaz da tensão residual do defeito;
- U_N - Tensão nominal;

Sendo que U_r (%) num determinado barramento (figura 2.4) onde se está a efetuar o estudo, é dado por:

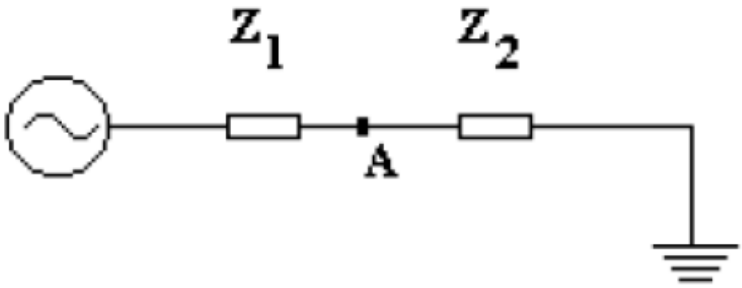

Figura 2.4 - Cálculo aproximado da tensão residual de defeito numa rede radial [4]

- $U_r\,(\%) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$ (2.12)

A norma EN 50160 [1] classifica as cavas, em função da tensão residual e da sua duração, da forma apresentada na tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Classificação das cavas de tensão [1]

Tensão residual u %	Duração t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

2.3.3. Mitigação das cavas de tensão

Sendo as redes de T&D responsáveis pela propagação das cavas de tensão, independentemente da sua origem é fundamental adotar estratégias de mitigação das cavas de tensão a este nível. Contudo, a intervenção nos sistemas de T&D implica normalmente investimentos extremamente elevados. Neste contexto, é indispensável a adoção de estratégias e mitigação das cavas de tensão e de imunização dos equipamentos ao nível das instalações do cliente.

Ao nível das redes de T&D, podem ser adotadas algumas das seguintes medidas:

- Aumento da potência de curto-circuito – Quanto maior for a potência de curto-circuito, num determinado ponto da rede, menor será a propagação de cavas de tensão até esse ponto;
- Otimização do número e tempo de eliminação de defeitos – através de uma melhor política de abate de árvores junto das linhas aéreas, através de instalação de proteções contra animais, a substituição de linhas aéreas por cabos subterrâneos, o uso linhas aéreas com isolamento e aumento da manutenção (diminuir a periodicidade);
- Isolamento de clientes sensíveis – Os clientes mais sensíveis a cavas de tensão devem ser alimentados a partir de níveis de tensão mais elevados.

Ao nível das instalações do cliente, pode-se aplicar a instalação de equipamentos que filtram/evitam pequenas perturbações da rede, tais como:

- UPS´s - normalmente utilizadas para garantia de funcionamento de equipamento crítico, durante interrupções de fornecimento, com investimentos relativamente baixos;
- Sistemas Motor-Gerador;
- Reguladores dinâmicos de tensão ou *Dynamic Voltage Restorers* (DVR), sendo utilizados para atenuação da severidade de cavas de tensão, sobretensões e desequilíbrios de tensão com origem nos sistemas de T&D.

2.4. Flutuações ou oscilações de tensão (efeito “flicker”)

De acordo com a norma EN 50160 [1] uma flutuação de tensão é uma série de variações regulares ou irregulares no valor eficaz ou na amplitude da tensão que muitas vezes causa o efeito de cintilação (efeito “flicker”) que é a impressão visual resultante das variações do fluxo luminoso das lâmpadas.

As flutuações de tensão, em geral são provocadas por variações de cargas como fornos a arco, elevadores, bombas e compressores. O efeito principal é o fenómeno de *flicker*, mas as flutuações de tensão podem ocasionar oscilações de potência nas linhas de transmissão, levando os geradores a oscilar entre si (oscilações eletromecânicas) [6].

As flutuações de tensão correspondem a variações dos valores eficazes da tensão dentro do intervalo entre 0,95 a 1,05 pu. Tais flutuações são geralmente provocadas por cargas industriais e manifestam-se de diferentes formas a destacar [2]:

- **Flutuações Aleatórias**: originadas por fornos a arco, onde as amplitudes das oscilações dependem do estado de fusão do material e do nível de curto-circuito da instalação;
- **Flutuações Repetitivas**: originadas por máquinas de soldagem, laminadores, elevadores;
- **Flutuações Esporádicas**: provocadas pelo arranque frequente de grandes motores.

Na imagem seguinte, apresenta-se um exemplo gráfico de uma flutuação de tensão.

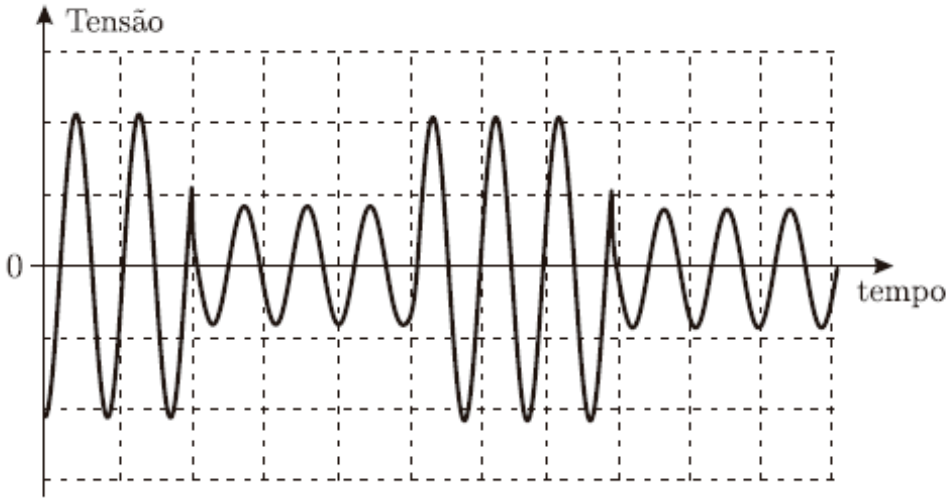

Figura 2.5 - Exemplo de flutuação de tensão [5]

2.4.1. Consequências das flutuações de tensão

Os principais efeitos nos sistemas elétricos, resultados das oscilações causadas pelos equipamentos mencionados anteriormente são oscilações de potência e binário das maquinas elétricas, queda de rendimento dos equipamentos, interferências nos sistemas de proteção, e efeito "flicker" ou cintilação luminosa.

A análise/avaliação destas perturbações é efetuada tendo em consideração o incómodo causado pela flutuação da luminância e frequência desta mesma flutuação. É então necessário perceber quais os parâmetros associados a estas perturbações.

Antes de se analisar as perturbações, é necessário compreender os principais conceitos [1]:

- **Duração de uma variação de tensão** – É o intervalo de tempo em que a tensão varia, desde um instante inicial ate ao final;
- **Flutuação de tensão** – É a serie de alterações de tensão ou variação cíclica da envolvente da tensão;
- **"Flicker"** – É a flutuação da luminância de fontes luminosas;
- **Limite de irritabilidade do "flicker"** – É o limite máximo em que a luminância pode flutuar sendo suportada por uma determinada amostra de população;

- **Índice de severidade do “flicker” de curta duração (Pst)** – É o índice de avaliação do fenómeno de “flicker” num curto período de tempo (normalmente 10 minutos).

  - $P_{st} = 0{,}36\, dr^{0{,}31}\, RF$ (2.13)

Onde:

- d - valor da variação relativa da tensão $\frac{\Delta U}{U}$ (%);
- r - Número de variações de tensão por minuto;
- R - Fator de frequência que toma valores dependentes do valor r;
- F - Fator de equivalência que depende da forma da flutuação da tensão;

- **Índice de severidade do “flicker” de longa duração (Plt)** – É o índice de avaliação do fenómeno de “flicker” num longo período de tempo (normalmente 2 horas).

  - $P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_i^N \frac{P_{sti}^3}{N}}$ (2.14)

  Onde:

  N - Número de indicadores P_{st} considerados durante o intervalo de 2 horas

- **Índice de severidade equivalente do “flicker”** – É o índice que permite a avaliação em intervalos de tempo longos e curtos do fenómeno do “flicker”.

2.4.2. Mitigação das flutuações de tensão

Existem várias estratégias para a diminuição da amplitude das flutuações de tensão, mas todas implicam aumento da potência de curto-circuito do sistema de alimentação das máquinas perturbadoras ou diminuição do fluxo de energia reativa.

A eliminação/mitigação destas perturbações, poderá ser conseguida através de:

- Instalação de lâmpadas com menor sensibilidade a estas variações;
- Reforço da rede (aumentar a potência de curto-circuito através da instalação de geradores próximo das cargas perturbadoras;
- Ligar os aparelhos perturbadores a níveis de tensão superiores;
- Ligar baterias de condensadores em serie a montante do ponto de interligação à rede da carga perturbadora;
- Utilização de balastros eletrónicos para regulação de tensão;
- Utilização de arrancadores progressivos para motores de grande potência.

2.5. Oscilações de Frequência

A frequência da tensão alternada é função da velocidade de rotação dos geradores. A estabilidade da frequência depende da garantia de equilíbrio entre a absorção e a geração de potência ativa. Nas redes fortemente interligadas, as variações de frequência são praticamente insignificantes, dada a capacidade de resposta das redes a variações de carga.

Em Portugal continental não é de esperar oscilações de frequência significativas, uma vez que os sistemas de T&D apresentam um bom nível de interligação e existem várias ligações à rede europeia.

Em redes isoladas, de pequena dimensão, são necessários cuidados acrescidos para que não ocorram desvios de frequência que ponham em causa a estabilidade do sistema elétrico e o adequado funcionamento do equipamento do cliente. Nestas redes, podem ocorrer variações de frequência da ordem dos 3 Hz a 4 Hz, especialmente prejudiciais para as máquinas rotativas de grande potência [3].

2.5.1. Consequências das oscilações de frequência

Para pequenas oscilações, dentro da denominada tolerância normal, o principal efeito é sobre a velocidade das maquinas rotativas. Em tais condições, podem produzir-se fenómenos como [5]:

- Variação da potência debitada pelos motores AC;
- Sobreaquecimento das fontes de alimentação, podendo levar a danos nos circuitos eletrónicos;
- Equipamentos que dependem da frequência como referencial temporal podem alteram o seu funcionamento;

Para efetuar a análise deste tipo de perturbações, convém conhecer os parâmetros que a constituem/definem, tendo por base a norma EN 50160 [1]:

- **Frequência da tensão de alimentação** - É a taxa de repetição, que é medida ao longo de um dado intervalo de tempo, da onda fundamental de tensão;
- **Frequência nominal** – É o valor nominal da frequência de alimentação;

A norma EN 50160 [1] impõe que a frequência nominal de alimentação deverá ter o valor de 50 Hz, sendo que no período normal de funcionamento, num período de medição de 10 segundos, o valor médio da frequência fundamental, deverá estar compreendido no seguinte intervalo para redes com ligação síncrona a redes interligadas:

- 50 Hz $\pm$ 1% [49,5 Hz; 50,5 Hz] durante 99,5 % de um ano;
- 50 Hz $\pm$ 4% [47 Hz; 52 Hz] durante 100 % do tempo.

Tem-se ainda outro intervalo, para os sistemas sem ligação síncrona a um sistema interligado:

- 50 Hz $\pm$ 2% [49 Hz; 51Hz] durante 95% de uma semana;
- 50 Hz $\pm$ 15% [42,5 Hz; 57,5 Hz] durante 100 % do tempo.

A título de exemplo, a figura 2.6 apresenta uma variação de frequência de tensão.

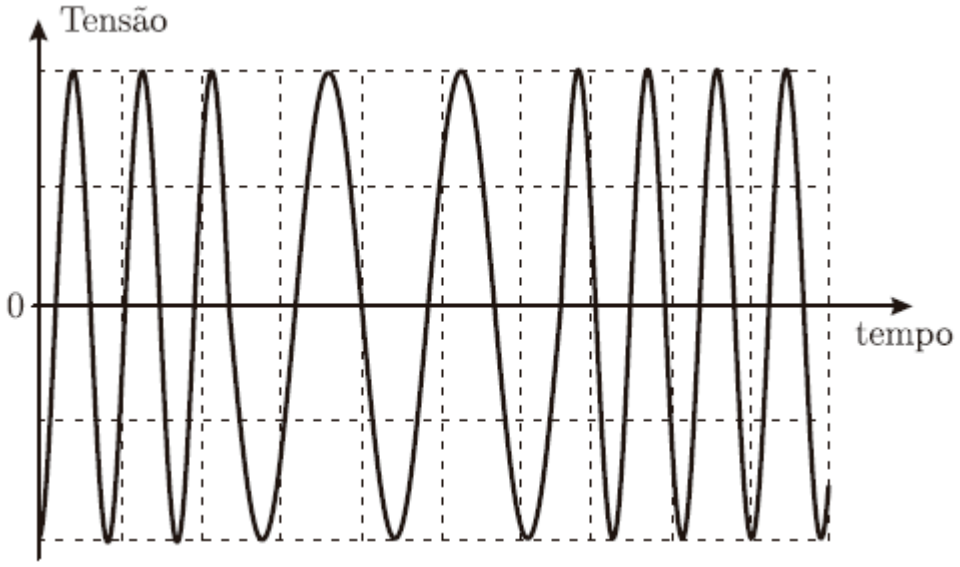

Figura 2.6 - Exemplo de variação de frequência de tensão [5]

2.5.2. Mitigação das oscilações de frequência

No sentido de eliminar este tipo de perturbações é necessário equilibrar em cada instante o conjunto da capacidade de produção com a carga combinada pedida simultaneamente.

Existe sempre um certo risco de desequilíbrio que provoque um aumento ou uma diminuição da frequência, podendo ser reduzido se numerosas redes estiverem agrupadas em grandes redes interligadas, cuja capacidade de produção seja muito grande em relação das eventuais variações.

2.6. Sobretensões

As sobretensões são uma das causas mais frequentes nas avarias em equipamentos eletrónicos. Os recentes desenvolvimentos tecnológicos têm conduzido a uma monitorização dos equipamentos com a redução óbvia das resistências de isolamento. Cada vez mais, os equipamentos estão mais sensíveis, e cada vez mais dependemos de equipamento sensível. As origens das sobretensões são bem conhecidas. Fundamentalmente têm origem em manobras de comutação ou descargas atmosféricas.

As sobretensões nos sistemas elétricos de energia podem ser causadas, essencialmente, pelos seguintes tipos de ocorrências:

- Descargas atmosféricas;
- Operação de disjuntores de rede;
- Descargas electroestáticas;
- Outras ocorrências provocadas por geradores de impulsos integrantes do sistema.

Podem ser classificadas como sobretensões de baixa frequência, quando ocorrem à frequência do sistema elétrico (50 Hz), ou como sobretensões de alta frequência, quando ocorrem a frequências muito superiores, podendo atingir os MHz.

As sobretensões transitórias correspondem a variações extremamente rápidas do valor da tensão, com durações entre os microssegundos e os segundos, podendo atingir valores de pico bastante elevados.

A tabela 2.2 apresenta as principais características dos diferentes tipos de sobretensões que geralmente ocorrem nos sistemas elétricos.

Tabela 2.2 - Caraterísticas típicas de sobretensões nas redes elétricas [3]

	Duração	Frequência (ou taxa de cresc.)	Amortecimento com a distância
Descargas Atmosféricas	Muito curta (μs)	Muito alta (até 1000 kV/μs)	Forte
Descargas Electrostáticas	Muito curta (ns)	Alta (≈10MHz)	Muito forte
Comutação	Curta (ms)	Média (1 a 200 kHz)	Médio
Sobretensões temporárias à frequência do sistema	Longa (s),ou muito longa (horas)	Frequência do sistema (50 Hz)	Não existe

2.6.1. Consequências das sobretensões

A destruição de componentes elétricos e eletrónicos, na sequência de sobretensões, decorre principalmente nas seguintes situações:

- Sobretensões de elevada amplitude provocam a destruição das camadas de isolamento de alguns componentes;
- Sobretensões de elevada energia dão origem a correntes elevadas e ao aquecimento excessivo de componentes, por efeito de Joule;
- Sobretensões elevam os níveis de tensão nos barramentos DC das fontes de alimentação, conduzindo à avaria dos reguladores de tensão ou inversores;
- Sobretensões provocam funcionamento inadequado de componentes eletrónicos, tais como tirístores, devido às variações rápidas de tensão.

Convém também conhecer o significado de alguma terminologia, para perceber este tipo de perturbação, tendo em conta a Norma EN 50160 [1]:

- **Sobretensão transitória** – Consiste numa sobretensão de curta duração (alguns milissegundos), oscilatória ou não, e que normalmente e amortecida.
- **Sobretensão temporária a frequência da rede** – Consiste num aumento temporário do valor de tensão eficaz, num determinado ponto do sistema, tendo por base um valor limite inicial.
- **Duração da sobretensão** – É a diferença absoluta entre o instante em que se inicia a sobretensão e o valor final da mesma.
- **Limiar inicial da sobretensão** – É o valor eficaz da tensão, que define o inicio da ocorrência da sobretensão.
- **Limiar final da sobretensão** – É o valor eficaz da tensão, que define o final da ocorrência da sobretensão.
- **Valor de pico** – É a amplitude máxima do impulso. O seu valor poderá variar entre 1 a 5 vezes o valor nominal da tensão.

A norma EN50160 [1] define ainda o limite incial para a sobretensão no valor de 110% da tensão de referência. Considera também, que o nivel da sobretensão é definido pela tensão e pela sua duração temporal.

As sobretensões podem-se manifestar de diversas formas, tomando o exemplo:

- Sobretensão entre 2 condutores ativos;
- Sobretensão entre os condutores ativos e a terra;
- Sobretensão entre as fases e o neutro.

A tabela 2.3, de seguida representada, apresenta a classificação das sobretensões de acordo com a tensão máxima e a duração.

Tabela 2.3 - Classificação das sobretensões [1]

Tensão de incremento u %	Duração t ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5\,000$	$5000 < t \leq 60\,000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

2.6.2. Mitigação das sobretensões

Devem ser adotadas estratégias de mitigação deste tipo de fenómenos, desde os sistemas de T&D até ao quadro de alimentação de cada equipamento.

As sobretensões que ocorrem ao nível dos sistemas de T&D, com consequências mais graves, são resultantes de descargas atmosféricas diretas. Para atenuar os efeitos deste tipo de sobretensões são instalados “cabos de guarda” e descarregadores de sobretensão nas linhas de MT e AT.

Outras soluções de correção, passam por instalação de supressores de impulsos de tensão nas instalações dos clientes ou a redução da emissão de impulsos na fonte de perturbação.

2.7. Distorção da forma de onda de tensão na presença de harmónicos

A distorção da forma de onda é definida como um desvio em regime permanente, da forma de onda puramente sinusoidal, na frequência fundamental é caraterizada principalmente pelo seu conteúdo espectral.

- **Harmónicos**

Quando existem cargas não lineares ligadas à rede elétrica, a corrente que circula nas linhas contém harmónicos e as quedas de tensão provocadas pelos harmónicos nas impedâncias das linhas, faz com que as tensões de alimentação fiquem também distorcidas. A figura 2.7, representa um exemplo da distorção da forma de onda de tensão na presença de harmónicos.

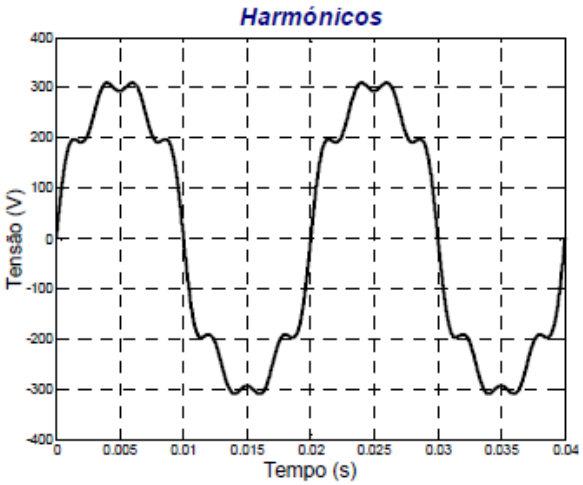

Figura 2.7 – Exemplo de Harmónicos [7]

Este problema da distorção harmónica, será abordado com maior detalhe no capítulo 3.

2.8. Energia reativa e o Fator de Potência

Numa instalação elétrica, os elementos que a compõem podem atuar como consumidores, que utilizam a potência elétrica (ativa) da rede como fonte de energia de alimentação (computadores, impressoras, etc.), ou como conversor noutra forma de energia, por exemplo: lâmpadas ou fornos, ou em trabalho útil (exemplo de motores elétricos). Para que isto ocorra, geralmente é necessário que o elemento da instalação comute com a rede (com um consumo líquido nulo) energia reativa principalmente de tipo indutiva. Esta energia, mesmo se não se converter imediatamente noutras formas, contribui para aumentar a potência total que transita

para a rede elétrica, desde os geradores, ao longo de todas as linhas elétricas, até aos elementos que a utilizam. Para atenuar este efeito negativo é necessária a correção do Fator de Potência nas instalações elétricas. Salienta-se que, sem esta energia não há fluxo magnético indispensável ao movimento ou na física da energia magnética no entreferro dum transformador, motor ou gerador.

A correção, através do uso de baterias de condensadores para gerar *in site* a energia reativa necessária para a transferência de potência elétrica útil, permite uma gestão técnico-económica melhor e mais racional das instalações. Além disso, a atual difusão de equipamentos de corrente contínua ou componentes parasitas e transitórias, na iluminação de alta frequência, na eletrónica de potência nos conversores de frequência (VEV) para acionamentos elétricos, inversores solares da microgeração e painéis solares, carregamento de veículos elétricos, etc., são tecnologias que intrinsecamente implicam a geração de harmónicas de corrente que se descarregam na rede, que têm como consequência a contaminação e distorção das formas de onda de outras cargas associadas.

Face ao exposto, o uso de filtros de harmónicas, passivos ou ativos, contribui para melhorar a qualidade de potência total da rede, efetuando também a correção para a frequência de rede se os referidos filtros se encontrarem devidamente dimensionados [8]. Tema que será abordado no capítulo de dimensionamento.

2.8.1. Faturação da energia reativa

A atual legislação, publicada em Diário da República como Despacho nº 7253/2010 [9] veio definir novas regras no que diz respeito à forma de faturação de energia reativa. Esta passou a ser faturada em função dos valores de tg_{φ} (nas horas fora de vazio) da tabela 2.4, sendo agravados por um fator multiplicado à medida que os valores aumentam.

Tabela 2.4 - Valores limite e respetivo fator multiplicador de faturação de energia reativa [9]

Tg φ	Factor multiplicador
0,3 - 0,4	1/3 (Janeiro 2012)
0,4 - 0,5	1
>0,5	3

Anteriormente a energia reativa era faturada da seguinte forma:

- Se a tg φ nas horas fora de vazio fosse ≤ 0,4 não era faturado;
- Se a tg φ nas horas fora de vazio fosse > 0,4 (cos φ < 0,928) era faturado.

A alteração que o despacho veio introduzir está a provocar que, em muitos casos, seja necessário recalcular/redimensionar a forma de compensação existente. Para melhor compreender este tema, convém perceber o significado de alguns parâmetros que lhe estão associados.

2.8.2. Generalidades sobre a correção do fator de potência

Nos circuitos de corrente alternada, a corrente absorvida por uma carga pode ser representada por duas componentes [10]:

- **Componente ativa $I_{R'}$**, em fase com a tensão de alimentação que está diretamente relacionada com o trabalho útil desenvolvido (e, por isso, com a parte proporcional de energia transformada em energia de outro tipo: mecânica, luminosa, térmica...);

- **Componente reativa $I_{Q'}$**, perpendicular em relação à tensão, que serve para produzir o fluxo necessário para a conversão das potências através do campo elétrico ou magnético e é um índice do intercâmbio energético entre a alimentação e o elemento da instalação elétrica. Sem esta componente não poderia ocorrer transferência líquida de potência, por exemplo, por intervenção do acoplamento magnético no núcleo de um transformador ou no entreferro de um motor.

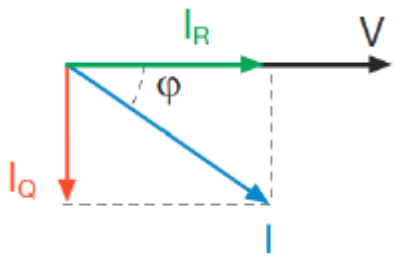

Figura 2.8 - Representação vetorial das componentes reativa e indutiva da corrente [10]

Na sua representação matemática, a componente ativa e reativa da corrente pode ser apresentada como:

- $I_{R'} = I \cos \varphi$ (2.15)
- $I_{Q'} = I \sin \varphi$ (2.16)

Dando origem à corrente total, como a soma vetorial das componentes ativa e reativa.

- $I = \sqrt{{I_{R'}}^2 + {I_{Q'}}^2}$ (2.17)

No caso mais comum, na presença de cargas resistivas e indutivas, (circuitos do tipo RL) a corrente total I resulta desfasada (φ) em relação à componente ativa I_R.

Numa instalação elétrica é necessário gerar e transportar, além da potência ativa útil P, também uma determinada potência reativa Q, indispensável para a conversão da energia elétrica, mas, que não pode ser aproveitada pelas cargas. A componente da potência gerada e transportada constitui a potência aparente S, representada na figura seguinte.

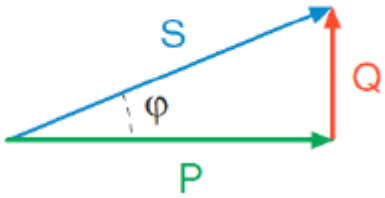

Figura 2.9 - Representação vetorial da potência aparente [10]

A potência ativa P, proporcional à componente ativa da corrente expressa em watt (W) é definida através das seguintes relações:

- para cargas trifásicas

$$P = \sqrt{3} \times U_c \times I_a \tag{2.18}$$

- para cargas monofásicas

$$P = U_s \times I_a \tag{2.19}$$

A potência reativa Q, proporcional à componente reativa da componente expressa em Volt-Ampére Reativo (VAr) é definida através das seguintes expressões:

- para cargas trifásicas

$$Q = \sqrt{3} \times U_c \times I_r \tag{2.20}$$

- para cargas monofásicas

$$Q = U_s \times I_r \tag{2.21}$$

A potência aparente S, obtida através da soma vetorial de P e Q é expressa em Volt-Ampére (VA) e definida através das seguintes expressões:

- $$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.22}$$

- para cargas trifásicas

$$S = \sqrt{3} \times U_c \times I \tag{2.23}$$

- para cargas monofásicas

$$S = U_s \times I \tag{2.24}$$

Define-se como Fator de Potência (cos φ) a relação entre a componente ativa I_a e o valor total da corrente I. φ é o ângulo de fase entre a tensão V e a corrente I.

- $cos_{\varphi} = \frac{I_a}{I} = \frac{P}{S}$ (2.25)

A correção do Fator de Potência é a ação de aumentar a relação entre as potências (Q e P) num ponto da instalação onde se injeta localmente a potência reativa necessária a compensar, reduzindo assim o valor de corrente requerida e a potência absorvida a montante.

Tendo em conta que a energia reativa, segundo o Despacho 7253/2010 [9], é faturada em função dos valores de tg_{φ} , convém ter presente a correspondência entre o fator de potência e a tg_{φ} respetiva, conforme a tabela seguinte:

Tabela 2.5 - Correspondência entre o fator de potência e a tangente

cos φ	φ (°)	tg φ
1,00	0,00	0,00
0,96	16,70	0,30
0,95	18,19	0,33
0,93	21,87	0,40
0,90	25,84	0,48
0,89	26,57	0,50
0,80	36,87	0,75
0,70	45,57	1,02
0,60	53,13	1,33

Pode-se verificar que para não se efetuar qualquer pagamento de energia reativa é necessário que o fator de potência esteja acima de 0,96.

2.8.3. Características das baterias de condensadores para a correção do Fator de Potência

A forma mais económica para aumentar o Fator de Potência, sobretudo se a instalação já existir, é instalar condensadores.

Os condensadores apresentam as seguintes vantagens:

- Custo inferior em relação aos compensadores síncronos e aos conversores eletrónicos de potência;
- Simplicidade de instalação e manutenção;
- Perdas reduzidas (inferiores a 0,5 W/kVar de baixa tensão);

- Possibilidade de abranger uma ampla margem de potências e diversos perfis de carga, simplesmente alimentando em paralelo diversas combinações de componentes de potência unitária relativamente pequena.

Os inconvenientes são a sensibilidade às sobretensões e a presença de cargas não lineares. Não obstante, hoje o mercado da especialidade apresenta-nos baterias sobrevoltadas e preparadas para "redes poluídas" face à cada vez maior utilização da eletrónica de potência e controlo, e ainda, soluções de compensação dinâmica onde a mecânica dos órgãos de comando vulgares (contactores) é substituída pela lógica de comando eletrónico. Através da tecnologia de vanguarda dos semicondutores anulam-se os fenómenos de sobretensão transitória inerentes às aberturas/fechos eletromecânicos [11].

2.8.4. Compensação Não Automática e Compensação Automática

Após a escolha do local onde compensar é também necessário decidir se a compensação será fixa ou variável.

As necessidades de compensação da sua instalação, variam dependendo de fatores como variações da carga, nível de poluição da rede e características da instalação. A escolha terá de recair entre uma compensação de forma fixa ou por escalões, e quanto à sua localização: Compensação global, Compensação local ou Compensação individual.

Em baixa tensão há, basicamente, duas famílias de equipamentos para a compensação do fator de potência:

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

2.8.4.1. Baterias de Condensadores de Capacidade Fixa

Os condensadores a utilizar nas baterias, têm, habitualmente, igual potência unitária. Como, normalmente, são modulares, podem ser agregados, por forma a que se obtenha a desejada potência reativa de compensação.

Quando a bateria está em funcionamento, é inserida a totalidade da potência, não havendo, pois, a possibilidade de regular a mesma. Daí, falar-se em "Compensação Não Automática" [11]. A ligação/corte das baterias, pode ser feita de três modos distintos:

- **Modo manual**: comando manual de um operador, mediante atuação num interruptor ou disjuntor;
- **Modo semiautomático**: comando realizado por contator, mediante ordem elétrica (por exemplo, através de um interruptor-horário);
- **Modo direto:** quando o equipamento é ligado diretamente aos bornes de um recetor, em que a ligação/corte da bateria ocorre, necessariamente, quando se efetua a ligação/corte do recetor.

2.8.4.2. Baterias de Condensadores de Regulação Automática

Permitem a adaptação automática da potência reativa fornecida pelo conjunto, a um perfil de fator de potência desejado. Este tipo de equipamento é instalado, por norma, à cabeça da instalação de distribuição BT, ou então num setor importante (quadro parcial) da mesma.

As baterias de condensadores estão divididas em escalões que são ligados e desligados, automaticamente, em função dos valores da carga da instalação e do fator de potência [11].

- **Modos de compensação em Baixa Tensão**

Conforme a localização dos equipamentos de compensação na instalação de utilização de energia elétrica, assim podemos ter três tipos de soluções, cada uma delas oferecendo vantagens e inconvenientes específicos [11]:

- Compensação Global;
- Compensação Parcial;
- Compensação Local.

A localização dos condensadores numa rede elétrica determina-se segundo:

- O objetivo procurado, supressão das penalidades, descarga das linhas e transformadores, aumento da tensão no final da linha;
- O modo de distribuição da energia elétrica;
- O regime de carga;
- A previsível influência dos condensadores na rede;
- O custo da instalação.

- **Compensação Global**

A bateria de condensadores é ligada na entrada da instalação (ligação ao barramento do Quadro Geral), assegurando a compensação para o conjunto da instalação (ver figura 2.10). Este modo de compensação é recomendado quando a carga é estável e contínua, o que é típico das instalações com muitos recetores de baixa ou media potência que não trabalhem todos ao mesmo tempo [11].

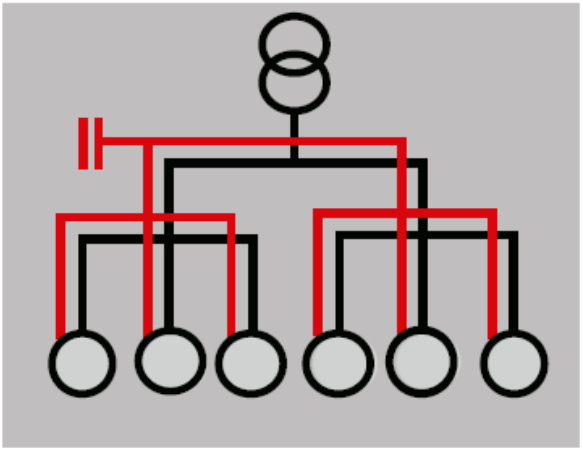

Figura 2.10 - Compensação Global nas saídas de BT [12]

Vantagens:

- Boa adaptação dos escalões de compensação à potência reativa necessária (isto caso se use uma compensação automática), conseguindo-se assim manter o fator de potência sempre acima do mínimo exigível;
- A bateria estará em funcionamento de forma permanente, ou quase permanente, durante o funcionamento normal da instalação. Assim, o elevado número de horas de funcionamento da bateria, garante uma boa rentabilidade do investimento feito na aquisição da mesma.

Inconvenientes:

- Não há supressão da potência reativa (em excesso) nos cabos de alimentação dos vários quadros parciais, pelo que há maiores perdas e quedas de tensão do que, por exemplo, na compensação individual.

➢ **Compensação Parcial**

As baterias são ligadas por sector, ou seja, são ligadas aos barramentos dos quadros parciais (todos ou parte) da instalação. Cada quadro parcial alimenta um conjunto de recetores - um sector da instalação (ver figura 2.11). Este modo de compensação é interessante quando os vários sectores da instalação apresentam regimes de carga algo diferenciados [11].

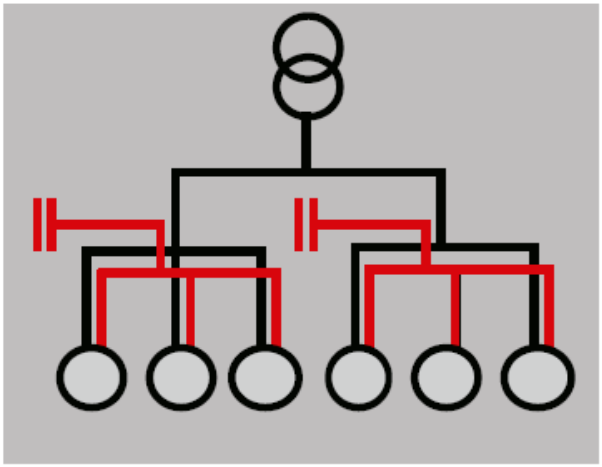

Figura 2.11 - Compensação Parcial em cada zona/área [12]

Vantagens:

- É reduzida a potência reativa nos cabos de alimentação dos vários quadros parciais, o que contribui para uma redução das correntes, das perdas e das quedas de tensão na instalação.

➢ **Compensação Local**

As baterias são ligadas diretamente aos bornes de cada recetor do tipo indutivo – nomeadamente de motores (ver figura 2.12).

Este modo de compensação é recomendado quando há recetores de potência apreciável face à potência total da instalação.

Não é de excluir a compensação individual do próprio transformador do posto de transformação da instalação – quando esta é alimentada em média tensão – a colocar no quadro geral de instalação [11].

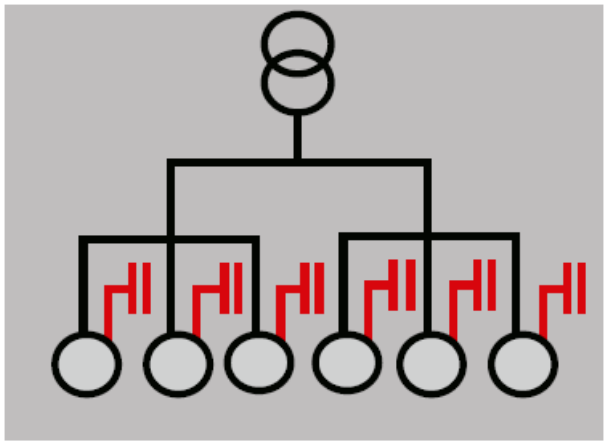

Figura 2.12 - Compensação Individual nos bornes de cada recetor de tipo indutivo [12]

Vantagens:

Este é o modo de compensação ideal, numa perspetiva meramente técnica (...sem olhar ao aspeto económico). Na verdade, para além de ser reduzida a potência reativa na instalação a valores "aceitáveis" – isto é que evitem a faturação da energia reativa – são, ainda, reduzidas, as correntes, as perdas e as quedas de tensão nos vários alimentadores da instalação.

Caso a compensação já seja considerada na fase de projeto da instalação, pode haver, eventualmente, uma vantagem suplementar a considerar: redução das secções de alguns dos alimentadores.

Capítulo 3

Distorção Harmónica

Nos últimos anos, a modernização dos processos industriais e a sofisticação de máquinas e equipamentos elétricos, conduziram a um desenvolvimento acelerado na utilização da eletrónica e potência.

Até à década de 70, as cargas elétricas eram predominantemente lineares. Nos sectores residencial e comercial, a energia elétrica destinava-se basicamente à iluminação e ao aquecimento. Mesmo na indústria, existia uma reduzida percentagem de cargas não-lineares, como fornos, retificadores e iluminação de descarga, sendo a força motriz a principal aplicação da energia elétrica.

A partir da década de 70, tem-se verificado uma grande aplicação de componentes eletrónicos baseados em semicondutores (transístores, tirístores…) utilizados em:

- Conversores estáticos de potência AC/DC
- Retificadores
- Onduladores
- Conversores de frequência

Todos estes componentes apresentam um comportamento não-linear, provocando perturbações significativas nas formas de onda da corrente e da tensão [3].

Grande parte dos problemas que surgem nos sistemas elétricos tem origem na excessiva distorção das correntes ou tensões junto ao consumidor final.

Na figura 3.1 são apresentadas as formas de onda de corrente monofásica (topo) e cargas não lineares trifásicas (parte inferior).

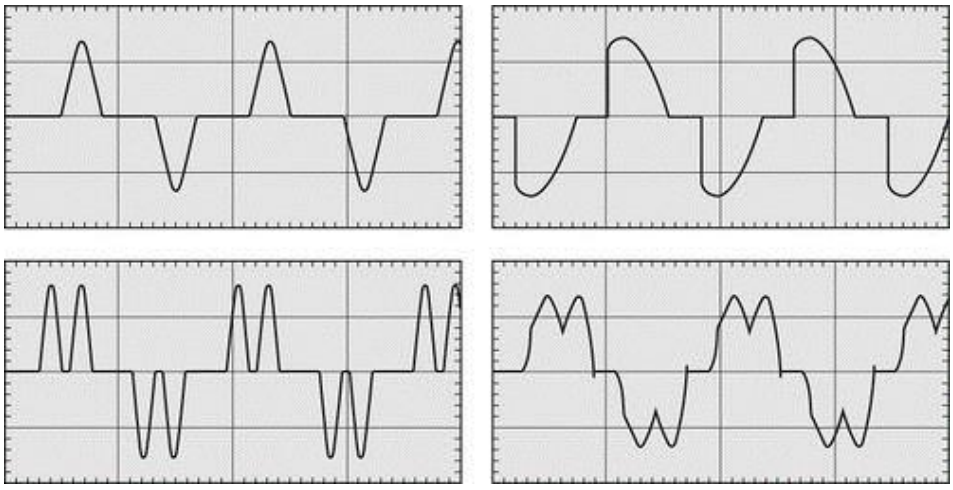

Figura 3.1 - Exemplos de formas de onda de corrente distorcidas [13]

3.1. Origem do problema dos harmónicos

No panorama atual, existem cada vez mais, equipamentos instalados, seja em instalações industriais, comerciais ou residenciais, diversos circuitos compostos por eletrónica de potência que se comportam como cargas não lineares.

As correntes harmónicas são geradas por essas cargas não lineares, que por sua vez, pela sua circulação geram tensões harmónicas e uma deformação na tensão de alimentação.

As cargas lineares são as cargas em que a forma de onda de tensão e corrente se mantêm sinusoidais. Geralmente este tipo de cargas são constituídas por resistências, indutâncias e capacitâncias.

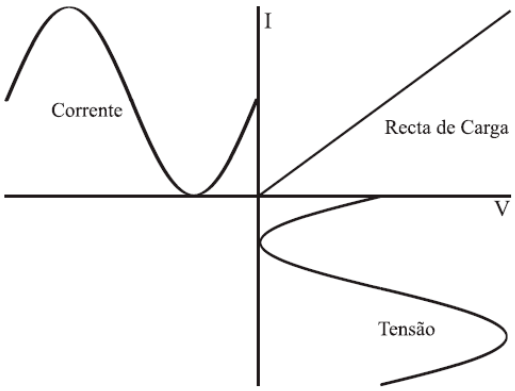

Figura 3.2 - Forma de onda de uma carga linear [5]

As cargas não-lineares correspondem às cargas que absorvem corrente com forma de onda distinta da forma de onda da tensão que as alimenta (sinusoidal). Este tipo de cargas é essencialmente constituído por eletrónica de potência.

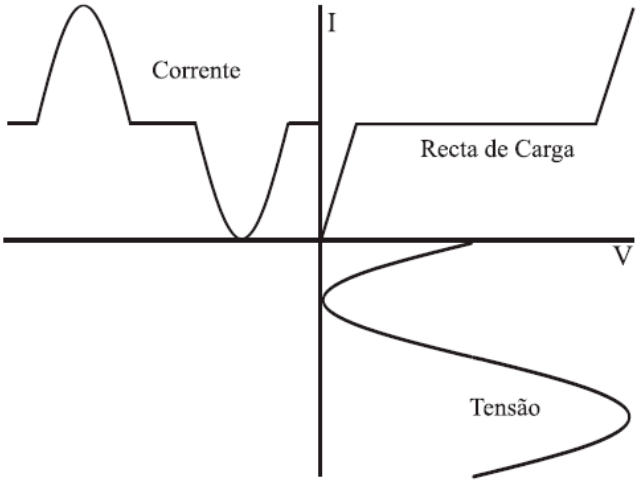

Figura 3.3 - Forma de onda de uma carga não linear [5]

3.2. Classificação e quantificação da distorção harmónica

De um modo geral, os harmónicos são tensões ou correntes sinusoidais com frequências múltiplas inteiras da componente fundamental (50 Hz), que caracterizam a distorção harmónica da tensão ou da corrente num determinado ponto do sistema elétrico. Os harmónicos são classificados pela ordem, frequência e sequência.

Ordem	Fund.	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	...	n.º
Frequência (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	...	nx50
Sequência	+	–	0	+	–	0	+	–	...	...

Figura 3.4 - Caraterização dos sinais harmónicos [3]

A ordem de um harmónico está relacionada com o múltiplo da frequência fundamental (2.º, 3.º, ...). Por exemplo, o 3.º harmónico, ou harmónico de ordem 3, tem uma frequência (150Hz) três vezes superior à frequência fundamental.

Os harmónicos de ordem par (2º, 4º, 6º, etc.), normalmente, não aparecem com valores prejudiciais às instalações/equipamentos. Devem-se, geralmente, à assimetria da corrente ou da tensão, na presença de uma componente contínua.

Quanto aos harmónicos de ordem ímpar são muito mais significativos que os harmónicos de ordem par. Encontram-se devido às caraterísticas das cargas não lineares que possuem ondas com semi-ciclos positivos e negativos idênticos. Neste sentido, é essencial estudar a sua sequência.

A sequência está relacionada com o sentido de rotação do campo girante, criado pelo harmónico respetivo, relativamente ao campo girante induzido pela componente fundamental. Isto é particularmente importante nos motores de indução, uma vez que os harmónicos de **sequência direta (+)** induzem campos magnéticos que giram no sentido do campo magnético fundamental, sendo constituídos por três fasores de igual módulo e desfasados de 120° entre eles.

Os harmónicos de **sequência inversa (-)** induzem campos magnéticos que giram no sentido oposto ao do campo magnético fundamental, dando origem a um binário oponente.

Os harmónicos de **sequência homopolar (0)** induzem campos magnéticos de resultante nula. São constituídos por três fasores de igual módulo e não desfasados, com igual direção, provocando assim o aumento da corrente do neutro, para o triplo da amplitude das fases. Estes harmónicos são os múltiplos de 3 (3°, 9°, 15°, etc.).

Os harmónicos de sequência nula são, de facto, aqueles que mais preocupam numa instalação, por levarem ao aumento da corrente do neutro, originando problemas tanto na instalação como nos equipamentos existentes.

3.3. Indicadores essenciais da Distorção Harmónica

Existem indicadores que permitem quantificar e avaliar a distorção harmónica das ondas de tensão e de corrente. Tais como:

- Taxa de distorção harmónica;
- Espectro harmónico;
- Fator de potência;
- Correlação entre fator de potência e a distorção harmónica;
- Fator de pico (crista).

3.3.1. Taxa de distorção harmónica (THD)

THD corresponde à *Total Harmonic DIstortion* (taxa de distorção harmónica global).

A taxa de distorção harmónica é uma notação muito utilizada para definir a importância do conteúdo harmónico de um sinal alternado.

A THD é definida no standard IEEE 519:1992 [14], no qual se verifica que é o resultado da relação entre um valor eficaz dos harmónicos e o valor eficaz da componente fundamental, através da equação:

- $$THD = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1} \times 100 \qquad (3.1)$$

Segundo o standard, podemos geralmente limitar h a 50. Esta grandeza permite avaliar com a ajuda de um número único da deformação de uma tensão ou de uma corrente circulando num ponto da rede.

A taxa de distorção harmónica é geralmente expressa em percentagem. Aplicando a anterior expressão aos casos particulares de corrente e tensão tem-se:

Para a corrente:

- $THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$ (3.2)

Para a tensão:

- $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{U_1}$ (3.3)

Com base nestes dois indicadores regulamentados pelo standard IEEE 519:1992 [14] é possível caraterizar a deformação da onda de corrente e tensão, respetivamente.

Para efetuar o estudo destes indicadores são utilizados os valores eficazes. O valor eficaz de uma determinada grandeza obtém-se calculando a raiz quadrada da soma dos quadrados dos diferentes valores da onda para todas as ordens de harmónicas existentes na dita onda:

- $Y = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} {Y_n}^2}$ (3.4)

No caso da corrente tem-se:

- $I_{ef} = \sqrt{{I_1}^2 + {I_2}^2 + \cdots + {I_n}^2}$ (3.5)

Para a tensão, o seu valor eficaz apresenta-se como:

- $V_{ef} = \sqrt{{V_1}^2 + {V_2}^2 + \cdots + {V_n}^2}$ (3.6)

Em que I_n e V_n, representam os valores de corrente e tensão do harmónico de ordem n, respetivamente.

3.3.2. Espectro harmónico

O espectro harmónico permite decompor um sinal nos seus harmónicos e representa-los graficamente mediante um gráfico de barras, onde cada barra representa um harmónico, com uma frequência, uma amplitude e respetivo desfasamento, como mostra a figura 3.5.

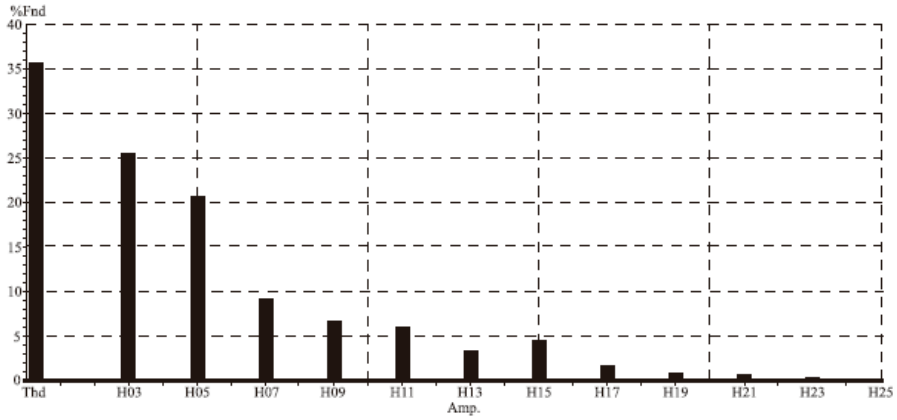

Figura 3.5 - Exemplo do espectro harmónico de um sinal [5]

O espectro harmónico de um sinal distorcido teoricamente vai até ao infinito, no entanto na prática verifica-se que os harmónicos de ordem elevada (acima de 25) são praticamente desprezáveis, não tendo qualquer influência na qualidade da energia.

3.3.3. Fator de Potência

O fator de potência, por definição, é dado pela relação entre potência ativa P e a potência aparente S, como mostra na equação 3.7.

- $FP = \frac{P}{S}$ (3.7)

Uma primeira indicação da presença significativa de harmónicos, pode ser um fator de potência medido, diferente do valor de cos_{φ} (o fator de potência será inferior ao cos_{φ}).

É importante relembrar, que é frequente confundir o FP com cos_{φ}, cuja definição é a seguinte:

- $cos_{\varphi} = \frac{P_1}{S_1}$ (3.8)

Em que:

P_1 – Potência ativa fundamental
S_1 – Potência aparente fundamental.

Ora o cos_{φ} relaciona-se unicamente com a frequência fundamental (50 Hz) e na presença de harmónicos, esse valor é diferente do fator de potência FP.

3.3.4. Correlação entre o fator de potência e a distorção harmónica

Na presença de distorção harmónica, verifica-se um agravamento do fator de potência.

É importante referir a existência de uma relação entre o fator de potência e a taxa de distorção harmónica. Com uma tensão sinusoidal, ou quase sinusoidal podemos considerar:

- $P = P_{h1} = V_{h1} \times I_{h1} \times \cos\varphi$ (3.9)

Como consequência: $FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{h1} \times I_{h1} \times \cos\varphi}{V_{h1} \times I_{ef}}$ (3.10)

Ou:

- $\frac{I_{h1}}{I_{ef}} = \frac{1}{\sqrt{1+{THD_i}^2}}$ (3.11)

Concluindo assim, a seguinte relação:

- $FP = \frac{1}{\sqrt{1+{THD_i}^2}}$ (3.12)

Desta última expressão, verifica-se que $THD_v = 0$ e que o fator de potência diminui com o aumento da THD_i.

Na figura seguinte é possível observar graficamente, a variação do $\frac{FP}{\cos\varphi}$ em função da THD_i.

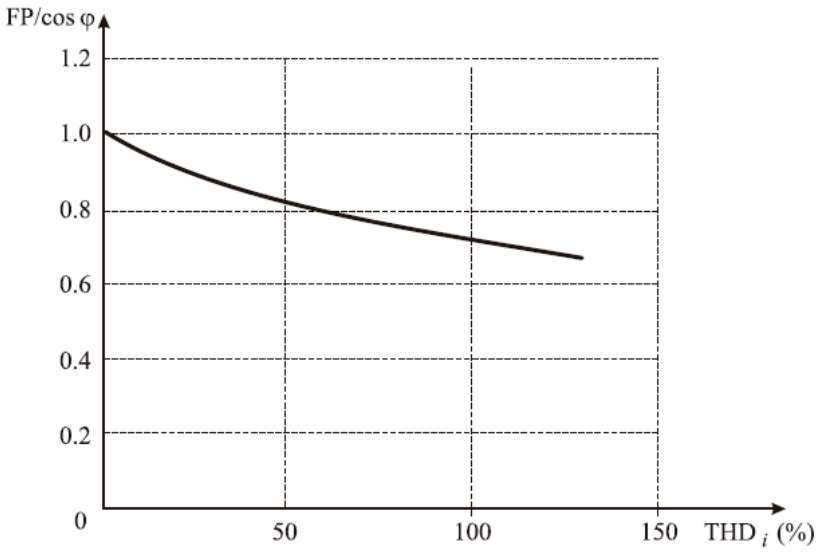

Figura 3.6 –Variação do $\frac{FP}{\cos\varphi}$ em função da THD_i [5]

3.3.5. Fator de pico (crista)

O fator de pico é a relação entre o valor de pico da corrente ou da tensão e o valor eficaz correspondente, como apresentado pelas equações:

- $FP_v = \frac{V_{pico}}{V_{ef}}$ (3.13)

- $FP_i = \frac{I_{pico}}{I_{ef}}$ (3.14)

Para sinais sinusoidais, este valor é igual a $\sqrt{2}$. Quando o valor do fator de pico de um sinal se afasta de $\sqrt{2}$, encontramo-nos perante um sinal distorcido, como se pode ver na figura 3.7.

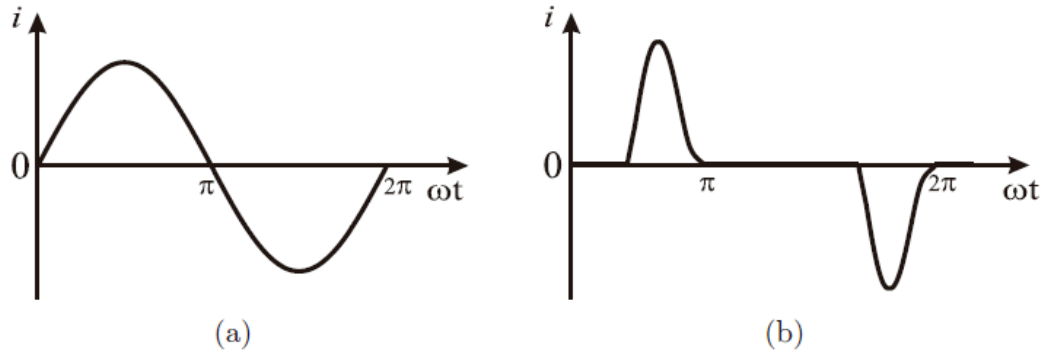

Figura 3.7 – Exemplo de distorção de um sinal de corrente. (a) Sinal sinusoidal sem distorção FP = $\sqrt{2}$, (b) Sinal distorcido com FP = 3 [5]

3.4. Principais efeitos dos harmónicos em instalações elétricas

O grau de severidade, com que os equipamentos ou materiais das redes ou instalações do cliente são afetados pela distorção harmónica, depende muito da suscetibilidade do equipamento e das características técnicas da rede. O equipamento eletrónico é bastante sensível e, frequentemente, o mais perturbador. Por outro lado, equipamento como aquecedores resistivos praticamente não são afetados pela distorção harmónica. A energia associada a cada componente harmónica também é transformada em energia térmica.

A distorção harmónica manifesta-se através do aumento do valor eficaz da corrente ou através da deformação das ondas de tensão e de corrente. Ao aumento do valor eficaz da corrente está associada uma subida da temperatura dos componentes elétricos, que se traduz em degradação de isolamento, diminuição de rendimento e ineficácia dos sistemas de proteção. A deformação da onda de tensão é especialmente prejudicial para o equipamento eletrónico sensível, podendo causar perturbações do seu funcionamento [3].

As principais perturbações causadas pelos harmónicos são:

- Aquecimento dos condutores elétricos;
- Sobreaquecimento dos condutores de neutro (provocado pela soma dos harmónicos da 3ª ordem);
- Perturbações das redes de comunicação;
- Tensão elevada entre o neutro e a terra;
- Aumento da queda de tensão e redução do fator de potência;
- Vibrações e acoplamentos;
- Ressonância dos condensadores de compensação de energia reativa;
- Disparos de dispositivos de proteção;
- Sobreaquecimento nos enrolamentos;
- Aumento das perdas (nos condutores, nas máquinas síncronas, nos transformadores, etc.).

3.4.1. Aquecimento dos condutores elétricos

O aquecimento é um dos principais problemas provocados pelos harmónicos nos condutores elétricos devido às perdas no cobre. Estas perdas, como se pode concluir da expressão de $R \times I^2$, são proporcionais ao quadrado da corrente, agravando-se ainda mais caso as ondas de corrente não sejam sinusoidais, levando a que o seu valor eficaz tenha um valor superior.

Na presença de harmónicos, ocorre, ainda, um fenómeno designado por efeito pelicular e passa pelo seguinte: à medida que a frequência da tensão ou corrente aumentam, passa a circular mais corrente na periferia do cabo resultando num aumento da resistência, que por sua vez irá provocar o aumento da temperatura do cabo, podendo até em situações extremas levar ao incêndio.

Outro efeito que pode levar ao aumento da resistência de um condutor é o chamado "efeito de proximidade", o qual relaciona um aumento na resistência do condutor em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores adjacentes [5].

3.4.2. Sobreaquecimento do condutor neutro

Num sistema trifásico equilibrado, a forma de onda de tensão de cada fase encontra-se desfasada de 120° em relação ao neutro. A soma das correntes no neutro é, portanto, nula.

Em casos, de sistemas desequilibrados, a corrente que flui no neutro é pequena, uma vez que os projetistas normalmente têm em conta no dimensionamento das instalações elétricas, projetando assim condutores com menor capacidade de corrente, ou seja, menor seção do que as fases.

Contudo, embora as correntes fundamentais se anulem, já o mesmo não acontece com as correntes harmónicas. Em termos gerais, a corrente de neutro resulta dos harmónicos de ordem múltipla de 3 e das componentes fundamentais das cargas desequilibradas. Em determinadas instalações com forte concentração de cargas monofásicas não lineares, responsáveis pela geração de harmónicos de ordem múltipla de 3, a corrente de neutro pode atingir valores superiores às correntes de fase. Por este facto, em alguns edifícios de serviços, é necessário projetar o condutor de neutro com seção superior à dos condutores de fase, o que implica o aumento do custo da instalação [5].

A circulação de correntes elevadas no condutor de neutro, muitas vezes subdimensionado, dá origem a sobreaquecimento, o que poderá resultar na degradação do isolamento deste condutor e dos condutores adjacentes e, eventualmente, o aumento da tensão do neutro relativamente à terra.

3.4.3. Aumento da vibração e do ruído audível

A vibração e o ruído dos transformadores resultam de pequenos movimentos das lâminas e da contração/dilatação cíclica do núcleo ferromagnético, por efeito da variação de fluxo magnético.

Na presença de distorção harmónica de corrente, o fluxo magnético resultante é constituído por componentes harmónicas de frequência elevada, que conduzem a um aumento de vibração e de ruído [3].

3.4.4. Ressonância dos condensadores de compensação de energia reativa

No caso dos condensadores, o maior problema reside na possibilidade de ocorrência de ressonâncias (excitadas pelos harmónicos), podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou de tensão. Este fenómeno surge após a instalação de baterias de condensadores.

As baterias de condensadores, sendo colocadas em paralelo com a indutância da instalação elétrica, podem amplificar determinados sinais de frequência levando à diminuição do seu tempo de vida útil, ou provocando até mesmo a sua explosão [5].

3.4.5. Disparos nos dispositivos de proteção

As elevadas taxas de distorção harmónica, são muitas vezes responsáveis quer pelo não funcionamento dos dispositivos de corte, quer pelo disparo intempestivo de dispositivos de proteção diferencial. A dificuldade em que os dispositivos de corte funcionam, deve-se às componentes de alta frequência, como possuem variações rápidas aquando da sua passagem por zero, dificultarem o seu corte. Quanto ao acionamento intempestivo das proteções diferenciais deve-se à presença de harmónicos que provocam um aquecimento dos condutores, que por sua vez leva a atuação das respetivas proteções.

3.4.6. Equipamentos eletrónicos

Alguns equipamentos podem ser muito sensíveis a distorções na forma de onda de tensão. Por exemplo, se um aparelho utiliza os cruzamentos com o zero (ou outros aspetos da onda de tensão) para realizar alguma ação, distorções na forma de onda podem alterar, ou mesmo inviabilizar o seu funcionamento.

Caso os harmónicos penetrem na alimentação do equipamento por meio de acoplamentos indutivos e capacitivos (que se tornam mais efetivos com a aumento da frequência), podem também alterar o bom funcionamento do aparelho [5].

3.4.7. Equipamento de medição

Nos equipamentos de medição e instrumentação no geral são bastante afetados pela presença de harmónicos, especialmente se ocorrerem ressonâncias que afetam a grandeza a medir. Dispositivos com discos de indução, como os contadores de energia, são sensíveis a componentes harmónicas, podendo apresentar erros positivos ou negativos, dependendo do tipo de medidor e do harmónico presente. Geralmente o erro torna-se significativo para valores de distorção superiores a 20% [5].

3.4.8. Aumento de perdas (nos condutores, nas máquinas assíncronas, nos transformadores)

Uma das principais causas do aumento das perdas nas instalações deve-se à presença de distúrbios harmónicos.

No caso dos condutores elétricos, as perdas por efeito de Joule, são agravadas pelo aumento do valor eficaz da corrente, devido à circulação de correntes harmónicas.

Quanto ao aumento das perdas nos motores, é percetível através do seu aquecimento e um aumento anormal do seu ruído. Estes problemas são provocados pelo aumento das perdas no cobre e no ferro (perdas do estator) que afetam diretamente o rendimento do motor e o binário do mesmo (perdas do rotor). De modo a evitar estes problemas, a THD_u tem de ser inferior a 10 % para limitar estes fenómenos.

Nos transformadores, a presença de harmónicos leva também ao aumento das perdas. A presença de harmónicos de tensão origina o aumento das perdas no ferro e a presença de harmónicos de corrente provocam o aumento das perdas no cobre. As perdas no ferro são provocadas pelo efeito pelicular e as perdas no cobre podem ocorrer de duas formas [5]:

- Perdas por histerese;
- Perdas por correntes de Foucault;

Sendo que as perdas por correntes de Foucault são obtidas pelo somatório das perdas provocadas pela componente fundamental e pelas componentes harmónicas e as perdas por histerese são calculadas com base na seguinte expressão [5]:

- $$P_{hist} = K_{hist} \times f \times B_{max}^{n} \tag{3.15}$$

Em que:

B_{max} – Indução máxima;

K_{hist} – Constante de proporcionalidade (depende das caraterísticas e volume do ferro e das unidades utilizadas);

f – Frequência (sendo normalmente igual a 2).

3.5. Impacto económico resultante dos efeitos da distorção harmónica

Como consequência da presença de harmónicos nas instalações/equipamentos, é possível identificar e quantificar o impacto económico:

- **Perdas de energia** – Os harmónicos causam perdas adicionais (por efeito de Joule) em condutores e equipamentos;

- **Custos energéticos mais elevados** – A presença de correntes harmónicas pode exigir um nível de potência contratada superior e, consequentemente, custos de contratação mais elevados junto das entidades fornecedoras;

- **Sobredimensionamento do equipamento** – Tendo em conta o fluxo de correntes harmónicas e as perdas que as mesmas originam, torna-se necessário aumentar a seção dos condutores. Com a presença de harmónicos de 3ª ordem, a corrente do neutro aumenta, sendo necessário que este também seja sobredimensionado;

- **Vida útil do equipamento reduzida** – Quando o nível de distorção THD da tensão de alimentação atinge 10%, a duração de vida útil do equipamento é significativamente reduzida. Estima-se uma redução em 32,5% para máquinas monofásicas, 18% para máquinas de corrente trifásica e 5% no caso dos transformadores;

- **Disparos intempestivos e paragem de instalações** – Os disjuntores nas instalações são muitas vezes sujeitos a picos de corrente causados pelos harmónicos. Estes picos de corrente, podem causar disparos intempestivos de unidades de produção, originando prejuízos económicos, e também o desgaste dos aparelhos de corte, que por sua vez, leva à redução do seu tempo de vida útil.

3.6. Mitigação/Eliminação da distorção harmónica

Embora na generalidade das instalações não seja necessário adotar medidas especiais, a existência de distorção harmónica é uma realidade incontornável. Em determinadas situações, é necessário implementar estratégias de mitigação da distorção harmónica para garantia do adequado funcionamento do equipamento mais sensível.

Existem três tipos diferentes de soluções para atenuar os harmónicos:

- Modificações na instalação;
- Instalação de dispositivos especiais a montante;
- Filtragem.

As modificações na instalação podem passar por:

- Sobredimensionamento dos equipamentos;
- Separação de cargas.

3.6.1. Sobredimensionamento de equipamentos

Para algum equipamento, como, transformadores, motores ou cabos de alimentação, a principal consequência da distorção harmónica é o aumento das perdas por dissipação térmica. Assim, se este equipamento funcionar à carga nominal, a temperatura pode conduzir à redução do seu tempo de vida útil. A minimização destas consequências pode ser garantida através da redução de carga ou do sobredimensionamento do equipamento [3].

3.6.2. Separação de cargas

Para as cargas mais sensíveis à distorção harmónica, em que se verificam outros efeitos, para além do aumento das perdas, é necessária uma redução efetiva da distorção harmónica da tensão de alimentação.

Para evitar os problemas inerentes à distorção harmónica, a primeira medida deve ser a seleção de equipamentos que absorvam corrente com reduzido conteúdo harmónico. Em algumas situações, mesmo com uma seleção cuidada do equipamento, o nível de distorção harmónica acumulado numa instalação pode ultrapassar os limites aceitáveis. Para minimizar o seu efeito nas cargas mais sensíveis deve proceder-se à separação das cargas perturbadoras das sensíveis, alimentando-as através de circuitos distintos [3].

Outras ações para redução efetiva da distorção harmónica passam pela utilização de transformadores com ligações especiais, filtros passivos, filtros ativos e filtros híbridos. Para que seja implementada qualquer uma destas técnicas, a opção deve ser identificada com base em estudos prévios.

No caso de instalação de dispositivos é possível recorrer aos transformadores com ligações especiais.

3.6.3. Transformadores com ligações especiais

Recorrendo a transformadores com ligação Δ-Y é possível limitar a circulação de correntes harmónicas de ordem múltipla de 3. No entanto, esta solução implica um sobredimensionamento dos transformadores, de modo a que as correntes de sequência homopolar, que circulam nos enrolamentos em triângulo, não provoquem sobreaquecimento e a consequente destruição dos transformadores. A figura 3.8 ilustra um exemplo de aplicação do transformador de isolamento.

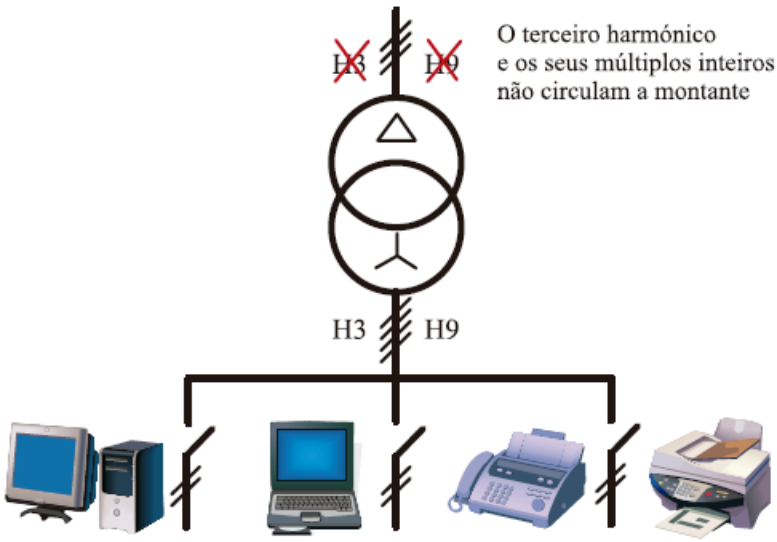

Figura 3.8 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 3° harmónico e seus múltiplos [5]

A ligação referida confina apenas os harmónicos de ordem múltipla de 3. No entanto, os harmónicos de maior predominância no equipamento trifásico não linear são o 5° e o 7°. Para isolar estes harmónicos podem ser utilizados transformadores com duplo secundário, com tensões de saída desfasadas 30°, ou, alternativamente, dois transformadores com acoplamento diferente para que as tensões dos secundários estejam desfasadas 30°. Através do desfasamento, as componentes harmónicas dos dois secundários somam-se a montante do transformador. O 5° harmónico de uma parte está em oposição de fase ao 5° harmónico da outra. O mesmo acontece com os harmónicos de ordem 7, 17 e 19. Se a distribuição das cargas pelos dois secundários apresentar um espectro harmónico semelhante, estes harmónicos podem ser bastante atenuados, ou mesmo eliminados. Se os enrolamentos do primário forem ligados em triângulo, então, os primeiros harmónicos que geralmente aparecem são os de ordem 11 e 13.

Na figura 3.9 pode verificar-se as formas de instalação destes tipos de transformadores em que os harmónicos são eliminados a montante do transformador.

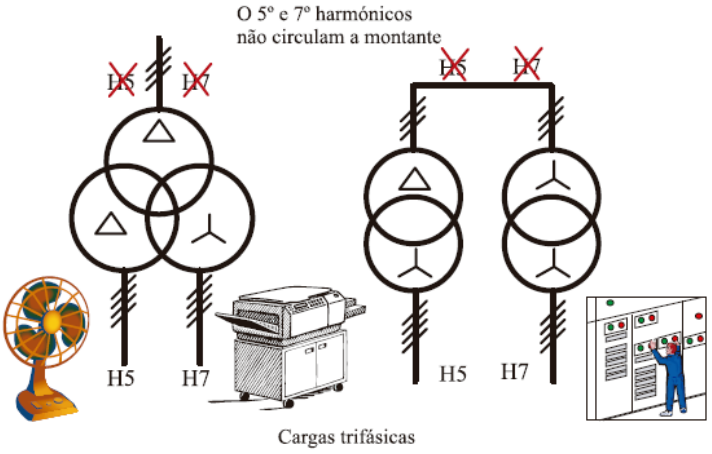

Figura 3.9 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 5° e 7° harmónico e múltiplos [5]

3.7. Filtro de harmónicos

Nos casos em que a ação preventiva apresentada acima é insuficiente, é necessário equipar a instalação com sistemas de filtragem. Existem três tipos de filtros:

- Passivo
- Ativo
- Híbrido

Em instalações com um elevado nível de poluição harmónica, o utilizador poderá ser confrontado com uma dupla necessidade:

- Compensar a energia reativa e proteger os condensadores;
- Reduzir a taxa de distorção harmónica da tensão para valores aceitáveis e compatíveis com o funcionamento correto da maioria dos recetores sensíveis (autómatos, informática industrial, condensadores…).

3.7.1. Filtro passivo (LC)

Existem basicamente dois tipos de filtros passivos de harmónicos: filtros série e filtros paralelo.

Os filtros série são caracterizados pela ligação em série com a carga de um condensador e de uma bobina, em paralelo entre si. O seu princípio de funcionamento passa por aumentar a impedância à circulação de correntes harmónicas, mantendo baixa impedância à circulação da componente fundamental (50 Hz). Por vezes, pode ser utilizada apenas uma bobina em série, embora com redução de eficácia do filtro. Com a utilização de apenas uma bobina consegue-se uma redução da distorção harmónica da corrente para cerca de metade [3].

Os filtros paralelos são caracterizados pela ligação em paralelo com a carga de uma bobina e de um condensador em série. Este filtro proporciona um circuito de baixa impedância para as componentes harmónicas da corrente, evitando que circulem na rede.

Os filtros paralelos são os menos dispendiosos e, por isso, os mais utilizados. A razão para o custo mais elevado dos filtros série deve-se essencialmente ao fato destes filtros serem dimensionados para a corrente da carga, enquanto que os filtros paralelos apenas são dimensionados para as componentes harmónicas a eliminar. No entanto, a aplicação de filtros paralelo implica um projeto mais cuidado, dado o risco de ressonância.

Antes da instalação de um filtro passivo devem ser identificadas as componentes harmónicas mais problemáticas na instalação, uma vez que estes filtros são projetados para atenuarem apenas uma determinada componente harmónica.

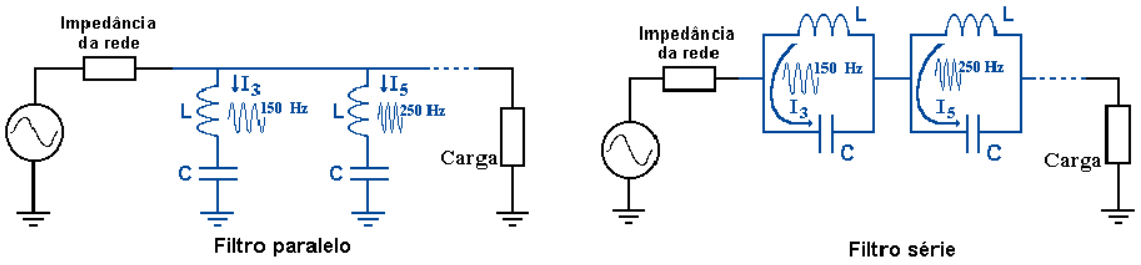

Figura 3.10 - Filtros passivos de harmónicos [3]

Na figura 3.10, está representado a integração dos filtros passivos de harmónicos, com ligações em série e paralelo com a carga. Apesar deste tipo de filtro ter um desempenho bastante satisfatório quando aplicado, o mesmo apresenta diversas desvantagens:

- Limite de espetro de atuação, ou seja, o filtro elimina apenas o sinal harmónico e atenua os outros harmónicos próximos, mas não é eficaz para uma banda mais alargada de sinais;
- Interação com a rede, originando elevados riscos de ressonância e por sua vez os
- condensadores instalados podem ser danificados;
- Não permite que haja variações de carga. Em caso de haver variação terá que ser redimensionado;
- Tem geralmente grandes dimensões (bobine) o que limita a sua utilização a pequenas potências.

As principais vantagens da utilização dos filtros de harmónicos passivos LC são as seguintes:

- Simples e confiáveis;
- A indutância de compensação pode ser instalada a qualquer momento;
- Aumento do fator de potência devido ao condensador existente;
- Apesar de ter perdas, estas são muito reduzidas e são provocadas pela resistência da indutância.

3.7.2. Filtro ativo

Os filtros ativos também podem ser instalados em série ou em paralelo. À semelhança dos filtros passivos, a ligação em série implica que sejam dimensionados para suportarem a corrente de carga. Na ligação em paralelo, os filtros são dimensionados apenas para as componentes harmónicas da corrente. Especialmente por este motivo, a ligação em paralelo é a mais utilizada [7] .

3.7.2.1. Filtro ativo paralelo

O filtro ativo de potência do tipo paralelo (figura 3.11) tem como função compensar os harmónicos das correntes nas cargas, podendo ainda compensar a potência reativa (corrigindo o fator de potência). Permite ainda compensar a componente de sequência zero da corrente,

equilibrando as correntes nas três fases (e eliminando a corrente no neutro). Ou seja, a rede elétrica passa a ver o conjunto constituído pelo filtro ativo e pelas cargas como se tratasse se um recetor trifásico equilibrado do tipo resistivo.

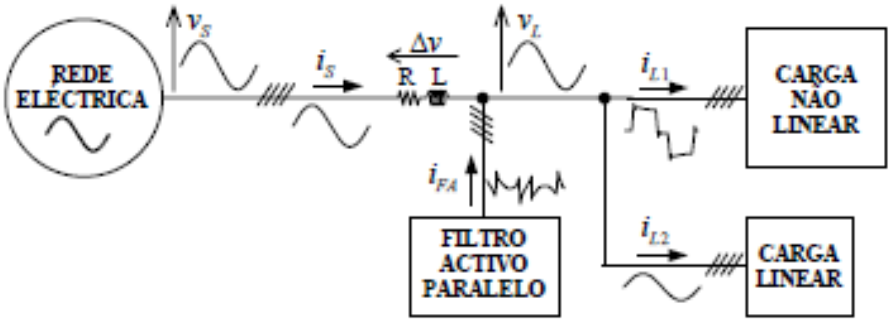

Figura 3.11 - Filtro ativo paralelo (exemplo de operação) [7]

Na Figura 3.11 apresenta-se o esquema elétrico de um filtro ativo paralelo trifásico. O filtro é, basicamente, composto por um inversor fonte de tensão com controlo de corrente e o respetivo controlador. O controlador, a partir da medida dos valores instantâneos das tensões das fases (v_a, v_b, v_c) e das correntes na carga (i_a, i_b, i_c), produz as correntes de compensação de referência (i_{ca}*, i_{cb}*, i_{cc}*, i_{cn}*) para o inversor. O inversor injeta as correntes de compensação (i_{ca}, i_{cb}, i_{cc} i_{cn}) requeridas pela carga, de forma a que as correntes nas fases da rede elétrica (i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}) passam a ser sinusoidais e equilibradas, fazendo com que a corrente no neutro da rede elétrica (i_{sn}) assuma um valor nulo.

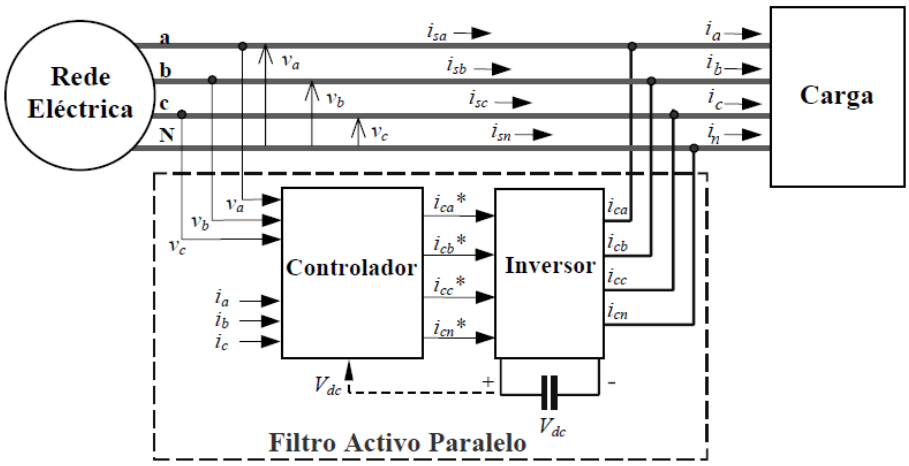

Figura 3.12 - Esquema de um filtro ativo paralelo [7]

3.7.2.2. Filtro ativo série

O filtro ativo de potência do tipo série (Figura 3.13) é o dual do filtro ativo paralelo. A sua função é compensar as tensões da rede elétrica (v_{sa}, v_{sb}, v_{sc}), para os casos em que estas contenham harmónicos, de forma a tornar as tensões na carga (v_a, v_b, v_c) sinusoidais. Em certos casos, dependendo da duração dos fenómenos e da energia que o filtro ativo pode disponibilizar, é ainda possível compensar sobretensões, subtensões ou interrupções momentâneas.

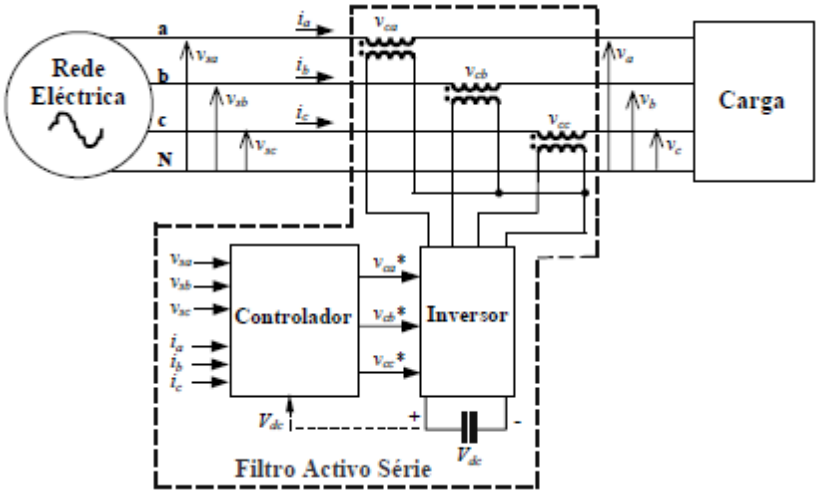

Figura 3.13 - Esquema de um filtro ativo série [7]

Os filtros ativos são tipicamente instalados em:

- Instalações comerciais com um conjunto de cargas não-lineares que representam menos de 500 kVA (acionamentos de velocidade variável, UPSs, equipamento de escritório, etc.);
- Instalações em que a distorção de corrente deve ser reduzida para evitar sobrecargas.

3.7.3. Filtro ativo hibrido

Em determinadas situações, pode ser economicamente vantajosa a opção por filtros híbridos. Este tipo de filtros consiste na conjugação de filtros passivos e filtros ativos (série/paralelo).

Conforme discutido na seção 3.7 deste capítulo, os filtros passivos são basicamente aplicados na filtragem harmónica de uma ou mais frequências definidas, enquanto que os filtros ativos podem, além da filtragem harmónica, realizar a correção de fator de potência, controlar a absorção da corrente harmónica, entre outras possibilidades. O filtro híbrido deve, portanto,

explorar a boa capacidade de filtragem harmónica do filtro passivo com a controlabilidade de corrente proporcionada pelo filtro ativo.

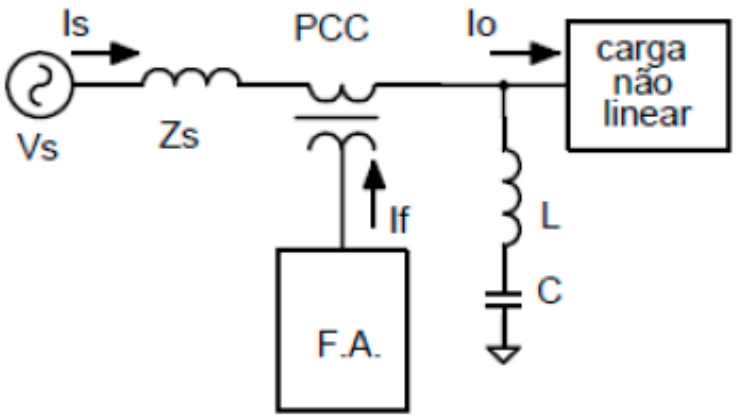

Figura 3.14 - Filtro ativo hibrido [15]

Especificamente no esquema figura 3.14, a parte passiva do filtro (bobina e condensador em série) pode estar dimensionada para filtrar apenas a componente harmónica mais perturbadora, sendo as restantes filtradas pela parte ativa. Assim, a parte ativa do filtro não necessita de uma capacidade nominal tão elevada. A configuração do sistema apresentado na figura é apenas um exemplo, sendo possível um elevado número de ligações, combinando filtros ativos e passivos.

Capítulo 4

Auditorias Energéticas e Descrição da Instalação

O interesse na questão de consumo de energia tem crescido em todos os setores de atividade, não somente devido ao seu impacto imediato nos custos de produção, mas também devido ao seu considerável impacto na sustentabilidade ambiental. Uma melhoria na eficiência energética dentro da organização/empresa tem o potencial de trazer benefícios comerciais significativos [16].

A gestão energética nas empresas é fundamental para uma utilização racional dos combustíveis e da energia elétrica. A implementação de medidas adequadas numa instalação passa pelo controlo rigoroso dos seus consumos de energia, isto é, um controlo com base numa contabilidade energética, permitindo assim conhecer no tempo, os consumos de todas as fontes de energias utilizadas, em comparação com a produção e/ou serviço da instalação. Desta forma pode-se conhecer os consumos específicos de energia, bem como, os custos energéticos da atividade.

No entanto, não basta o conhecimento da contabilidade energética, dado que esta apenas nos permite uma visão macroscópica da utilização da energia, não atendendo ao estado de utilização dos diversos equipamentos, os seus rendimentos e as perdas que cada um apresenta.

Para se pôr em prática soluções que permitam reduzir a energia consumida em todas as utilizações, é necessário proceder a medições, recolha dos dados necessários a cálculos das várias perdas energéticas dos principais equipamentos consumidores de energia [17].

As auditorias energéticas representam assim, uma ferramenta estratégica aplicada em grandes instalações ou multis-sites que permitam um estudo em profundidade, com um período de inspeção em campo, de todos os consumos energéticos das instalações (Eletricidade, Água, Gás, Vapor e Ar comprimido) e assim, elaborar um planeamento energético na empresa.

A auditoria energética, além de determinar um conjunto importante de dados e parâmetros energéticos deverá fornecer um lote de informações que corresponderá ao “ponto de partida” para o controlo e para o estabelecimento de metas do sistema energético da instalação, isto é, deverá quantificar para o ano de referência (ano zero) os valores das principais grandezas, parâmetros e indicadores que irão ser controlados no decorrer do processo de gestão de energia na empresa.

4.1. Eficiência Energética dos Edifícios

Enquadrado no estudo das auditorias energéticas, torna-se essencial compreender o significado de eficiência energética, em concreto, aplicado ao setor dos edifícios, dada a sua importância no tema da presente dissertação.

Eficiência energética baseia-se na otimização de recursos: como os recursos energéticos são empregues para serem obtidos os melhores resultados.

A eficiência energética dos edifícios (EEE) pretende, assim, trazer o máximo de conforto aos utilizadores sem despender de grandes quantidades de recursos.

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO_2 – quase a totalidade do compromisso da União Europeia (UE) no âmbito do Protocolo de Quioto. Para fazer face a esta situação, os Estados-Membros da UE têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios [18].

É neste contexto que surge a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD). Para além de outros requisitos, a EPBD estabelece que todos os Estados-Membros implementem um sistema de certificação energética nos edifícios.

Criado em 2013, o Decreto-Lei (DL) 118/2013, coloca na lei portuguesa a revisão do Sistema de Certificação Nacional (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

O DL 118/2013 destaca-se pela agregação num só diploma dos três regulamentos, compondo desta forma "uma reorganização significativa que visa promover a harmonização conceptual e terminológica e a facilidade de interpretação por parte dos destinatários das normas" [19], e pela clarificação dos âmbitos de aplicação dos regulamentos REH e RECS, sendo este último direcionado para os edifícios de serviços e comércio e o anterior exclusivamente para os de habitação.

O documento confirma algumas das irregularidades que foram antecipadas pelos profissionais do setor, em particular a obrigatoriedade da certificação energética nos edifícios públicos. Segundo a diretiva (EPBD), a certificação deverá aplicar-se a todos estes edifícios com área superior a 500 m^2 que forem ocupados pelo Estado. No entanto e de acordo com o DL, esta obrigatoriedade não é tida em conta e remete-nos apenas para os edifícios "que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 500 m^2 ou, a partir de 1 de Julho de 2015, superior a 250 m^2" [19]. A garantia da independência dos profissionais responsáveis pela certificação é também posta em causa com o novo decreto, uma vez que passa a ser suficiente um termo de responsabilidade do técnico responsável pela construção e obra.

Do lado das dificuldades que podem comprometer a qualidade das instalações e a eficiência energética nos edifícios, tal como antecipado, o Técnico Responsável pela Manutenção e Instalação (TRF) deixa de existir, passando a ser o Técnico de Instalação e Manutenção (TIM) a assegurar as suas funções. A este técnico não é exigida nenhuma formação específica ao contrário das competências necessárias ao TRF.

No que se refere à qualidade do ar interior (QAI), confirma-se a eliminação das auditorias, "considerando-se da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, de forma a salvaguardar os mesmos níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios" [19].

Os regulamentos, reunidos agora num único documento legal, substituem os anteriores Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios e Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

No que diz respeito ao setor industrial, as auditorias energéticas encontram-se regulamentadas pelo sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE), no decreto-lei no 71/2008 de Abril de 2008 [20], que visa a promoção da eficiência energética através da monitorização dos consumos energéticos dos grandes consumidores de energia.

Apresenta-se de seguida um exemplo de um certificado energético.

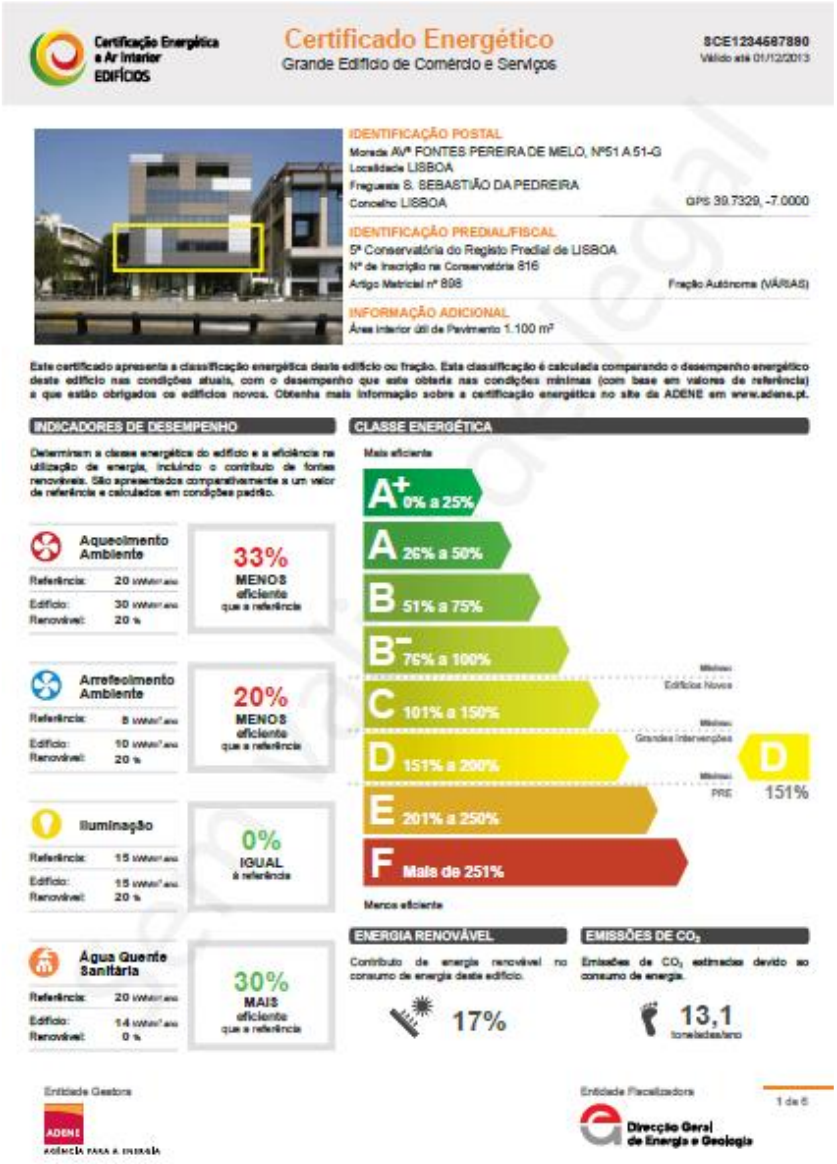

Figura 4.1- Exemplo de certificado energético [21]

4.2. Objetivos de uma auditoria energética

Constituindo uma verdadeira radiografia, do ponto de vista energético de uma instalação consumidora, a Auditoria Energética tem por objetivos:

- Determinar as formas de energia utilizadas;
- Examinar o modo como a energia é utilizada e os respetivos custos;
- Estabelecer a estrutura do consumo de energia;
- Determinar os consumos por processo, operação ou equipamento;
- Relacionar o consumo de energia com a produção e/ou com o nível de funcionamento da instalação;
- Identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos;
- Analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Estabelecer metas de consumo de energia sem alterações de processo;
- Propor um programa para as ações e investimentos a empreender;
- Propor, se inexistente, um sistema organizado de gestão de energia na empresa.

4.3. Fases da Auditoria Energética

4.3.1. 1ª fase - Preparação da auditoria

A fase de preparação da auditoria reveste-se de grande importância constituindo um elemento decisivo para a qualidade do trabalho a desenvolver.

Esta primeira fase é normalmente composta pelas seguintes tarefas [22]:

- Visita prévia às instalações a auditar;
- Recolha dos dados correspondentes aos registos históricos dos últimos três anos de atividade;
- Estudo e análise do processo produtivo implementado nas instalações a auditar;
- Levantamento das tecnologias de processo e das tecnologias energéticas, disponíveis no mercado, caracterizadas por uma elevada eficiência.

A visita prévia permite um primeiro contacto com a instalação devendo ser feita, nesta fase, uma análise profunda sobre o processo (ou processos) produtivo implantado, estabelecendo-se os fluxogramas de processo que deverão acompanhar os auditores no trabalho de campo a ser desenvolvido posteriormente.

Nesta primeira visita deverão ser, também, avaliados os pontos onde deverão ser realizadas medidas e registos energéticos, com vista a serem disponibilizados os meios necessários.

Com vista a obter um conjunto de informação relevante para posterior tratamento e consequente produção de indicadores de referência, deverá nesta primeira fase ser efetuada uma cuidada recolha dos dados correspondentes aos registos históricos dos últimos anos de atividade (normalmente três anos).

Alguns dos dados a recolher nesta fase são, por exemplo:

- Consumos de energia final por tipo de energia consumida e por ano;
- Fatura energética por tipo de energia consumida e por ano;
- Produções anuais, em unidades físicas (kg, t, l, etc.), por tipo de produto;
- Valores brutos da produção, por tipo de produto e por ano;
- Valores acrescentados brutos, por tipo de produto e por ano;
- Custos anuais de exploração.

Frequentemente o técnico auditor não é um especialista do processo produtivo sobre o qual irá incidir a auditoria energética.

Assim deverá, nesta fase de preparação, ser feita uma análise do processo produtivo implementado na instalação a auditar por forma a dotar o auditor dos conhecimentos mínimos que lhe permitam entender a interligação entre os fluxogramas de processo e os fluxogramas energéticos, com vista a detetar potenciais economias de energia numa eventual reorganização do processo produtivo.

Normalmente esta fase, bem como a seguinte (análise de tecnologias), deverá ser acompanhada por um técnico especialista do processo produtivo que poderá ser o responsável pela produção da instalação a auditar.

Finalmente, e antes de passar à intervenção no local (2ª fase), a equipa que irá proceder à auditoria energética deverá efetuar um levantamento das tecnologias de processo mais eficientes (quer do ponto de vista da produção quer do ponto de vista energético) disponíveis no mercado, com vista a poder estabelecer comparações entre estas e as que estão instaladas na empresa a auditar.

4.3.2. 2ª fase - Intervenção no local

A intervenção no local consiste basicamente na análise das condições de utilização da energia na instalação a auditar procedendo a um conjunto de medições, registos e análises que deverão permitir [22] :

- Caracterizar os equipamentos produtores e consumidores de energia, quanto ao seu consumo e à sua eficiência energética;
- Determinar os consumos de energia final (por forma de energia utilizada) em cada um dos setores produtivos da empresa;
- Determinar os diagramas de carga da instalação consumidora, globais, por sector produtivo e por forma de energia utilizada;
- Elaborar balanços energéticos (balanços térmicos, balanços de massa e de energia) dos equipamentos (ou de processos) de maior importância energética;
- Determinar os consumos específicos globais e por tipo de produto produzido;
- Propor soluções técnicas, ou de gestão, conducentes à redução dos consumos de energia, mantendo o mesmo nível de prestações;
- Propor (se inexistente) a instalação de aparelhos de medida, de grandezas energéticas, em pontos estratégicos que permitirão, ao gestor de energia fazer uma monitorização

adequada à instalação consumidora quer na sua globalidade quer por sectores produtivos da empresa.

4.3.3. 3ª fase - Tratamento da informação

Após o período de intervenção no local os técnicos auditores deverão organizar toda a informação recolhida, nas duas primeiras fases, com vista ao seu adequado tratamento.

O tratamento de toda a informação deverá ser orientado no sentido de produzir todo um conjunto de indicadores e de outros resultados, cujo universo deverá ser previamente estabelecido em termos qualitativos e nas suas grandes linhas gerais de enquadramento.

Basicamente, este universo de indicadores e resultados pode ser constituído pelos seguintes elementos fundamentais [22]:

- Consumos de energia final - global da instalação, por sector produtivo, por equipamento significativo e por tipo de energia consumida;
- Consumos específicos - global da instalação, por sector produtivo, por equipamento significativo e por tipo de energia consumida;
- Consumos unitários dos equipamentos mais importantes em termos energéticos;
- Rendimentos energéticos dos principais equipamentos consumidores e produtores de energia;
- Intensidades energéticas - global da produção, por sector produtivo e por tipo de energia;
- Soluções tecnológicas (energéticas e de processo) com vista a serem implementadas e com o objetivo de produzirem acréscimos na eficiência energética do sistema;
- Análises técnico-económicas de custo-benefício das soluções tecnológicas inventariadas;
- Soluções organizacionais para a implementação de um sistema de gestão de energia permanente, se não existir.

4.3.4. 4ª fase - Relatório da auditoria energética

A auditoria energética às condições de utilização da energia numa instalação consumidora ficará concluída, com a elaboração do respetivo relatório.

Este documento deverá apresentar, ao gestor da empresa e ao gestor de energia, toda a informação (recolhida e tratada) de uma forma organizada e coerente.

Na elaboração deste relatório deverá ter-se em consideração que a auditoria energética constitui um instrumento fundamental para o início de um processo continuado de gestão da energia na empresa auditada [22].

4.4. Descrição da Instalação

As instalações sobre as quais se realizaram os estudos de qualidade de energia, são compostas por dois edifícios adjacentes um ao outro. Estas integram uma galeria comercial e um edifício de serviços empresariais. Existe também um parque de estacionamento subterrâneo, distribuído por 4 pisos e com acessos à zona comercial e à zona de serviços.

O espaço comercial está estruturado por dois pisos, com áreas de restauração, serviços, vestuário e joalharia, com um total de 12 empresas em serviço.

O edifício de serviços tem nove pisos, onde se encontram presentes 40 empresas em funcionamento, desde a área judicial à área alimentar.

De seguida passa-se a descrever a instalação considerando as três principais especialidades:

- Eletricidade
- AVAC
- Equipamentos de Elevação

Todo o processo de recolha de informação acerca das instalações e respetivos equipamentos, foi acompanhado por técnicos autorizados e responsáveis da MANVIA.

4.4.1. Eletricidade

Os edifícios e o parque de estacionamento são alimentados pelo posto de transformação PTD 0871 (EDP Distribuição) com dois transformadores de 1000 kVA. O nível de tensão aplicado às três instalações é BTE.

A alimentação aos principais quadros é efetuada através do quadro geral de baixa tensão (Q.G.B.T) conforme a distribuição dos barramentos existentes.

Na figura 4.2, está representado o diagrama de alimentação e distribuição de energia das instalações. Note-se que estão assinalados a cor amarela os quadros elétricos que foram analisados, bem como a localização da compensação das baterias de condensadores (a cor verde, com a respetiva potência instalada).

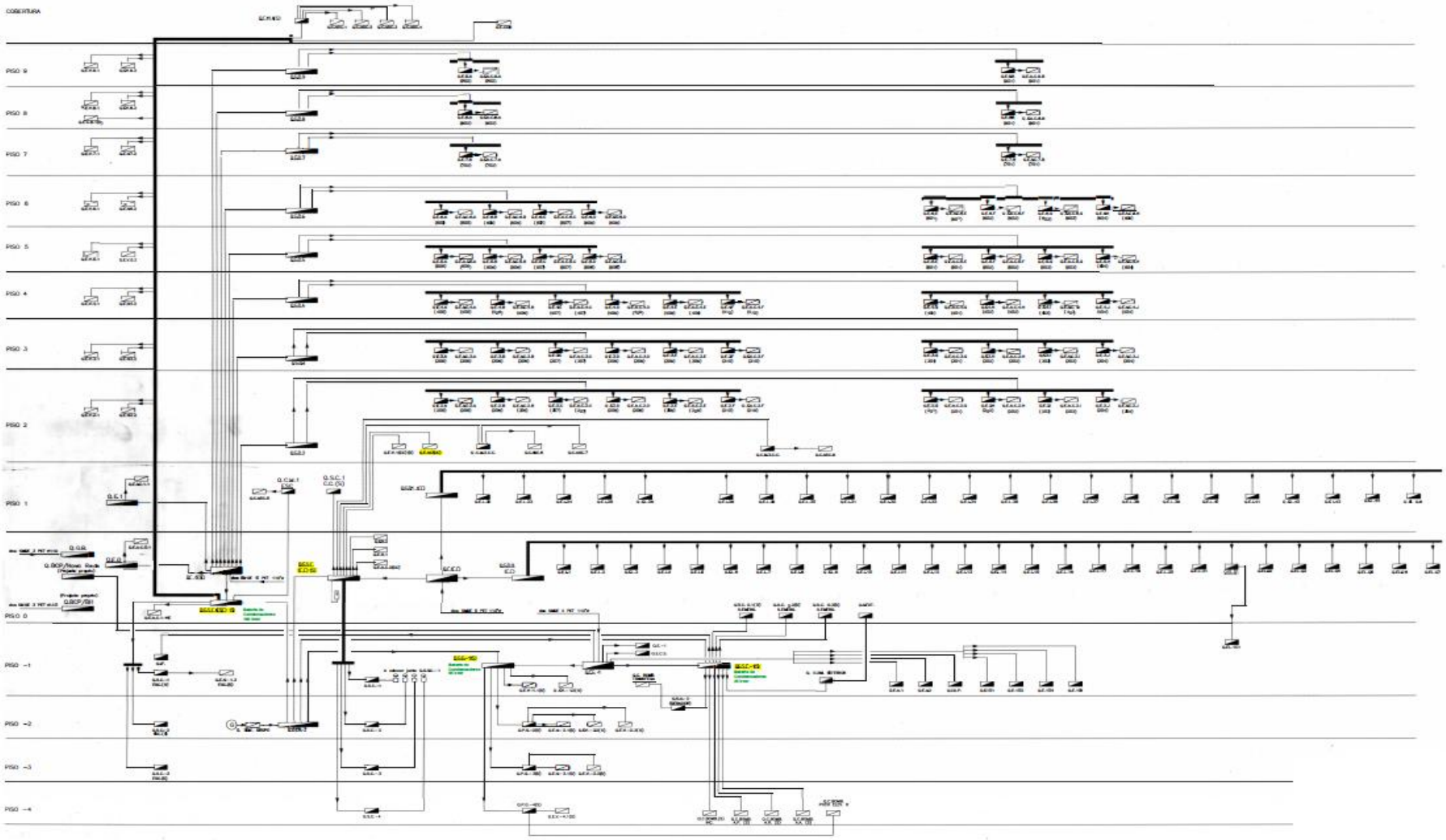

Figura 4.2 - Diagrama de alimentação e distribuição de energia [23]

- **Quadros Elétricos**

Em concordância com a tabela 4.1, as instalações possuem 250 quadros elétricos, entre quadros de alimentação normal, quadros de emergência e quadros socorridos. Estes quadros, encontram-se distribuídos pelos dois edifícios e um parque de estacionamento, conforme as suas necessidades e dos equipamentos instalados.

Tabela 4.1 - Quadros Elétricos do Edifício

QUADROS ELÉTRICOS – EDIFÍCIO			
Nº	**PISO**	**DESIGNAÇÃO**	
1	Cobertura	Q.C.M .4	Quadro Casa das Máquinas nº4
2		Q.C.ASC.1	Quadro comando elevador 1
3		Q.C.ASC.2	Quadro comando elevador 2
4		Q.C.ASC.3	Quadro comando elevador 3
5		Q.C.ASC.3	Quadro comando elevador 4
6		Q.E.COB	Quadro elétrico cobertura
7	Piso 9	Q.E.V.9.1	Quadro elétrico ventilação 9.1
8		Q.E.V.9.2	Quadro elétrico ventilação 9.2
9		Q.G.D.9	Quadro geral distribuição piso 9
10		Q.E.9A	Quadro elétrico piso 9 zona A
11		Q.E.A.C.9A	Quadro elétrico ar condicionado piso 9A
12		Q.E.9B	Quadro elétrico piso 9B
13		Q.E.A.C.9B	Quadro elétrico ar condicionado piso 9B
14	Piso 8	Q.E.V.8.1	Quadro elétrico ventilação 8.1
15		Q.E.V.8.2	Quadro elétrico ventilação 8.2
16		Q.G.D.8	Quadro geral distribuição piso 8
17		Q.E.8A	Quadro elétrico piso 8A
18		Q.E.A.C.8A	Quadro elétrico ar condicionado piso 8A
19		Q.E.8B	Quadro elétrico piso 8B
20		Q.E.A.C.8B	Quadro elétrico ar condicionado piso 8B
21	Piso 7	Q.E.V.7.1	Quadro elétrico ventilação 7.1
22		Q.E.V.7.2	Quadro elétrico ventilação 7.2
23		Q.G.D.7	Quadro geral distribuição piso 7
24		Q.E.7A	Quadro elétrico piso 7A
25		Q.E.A.C.7A	Quadro elétrico ar condicionado piso 7A
26		Q.E.7B	Quadro elétrico piso 7B
27		Q.E.A.C.7B	Quadro elétrico ar condicionado piso 7B
28	Piso 6	Q.E.V.6.1	Quadro elétrico ventilação 6.1
29		Q.E.V.6.2	Quadro elétrico ventilação 6.2
30		Q.G.D.6	Quadro geral distribuição piso 6
31		Q.E.6A	Quadro elétrico 6A
32		Q.E.A.C.6A	Quadro elétrico ar condicionado 6A
33		Q.E.6B	Quadro elétrico 6B
34		Q.E.A.C.6B	Quadro elétrico ar condicionado 6B

35		Q.E.6C	Quadro elétrico 6C
36		Q.E.A.C.6C	Quadro elétrico ar condicionado 6C
37		Q.E.6D	Quadro elétrico 6D
38		Q.E.A.C.6D	Quadro elétrico ar condicionado 6D
39		Q.E.6E	Quadro elétrico 6E
40		Q.E.A.C.6E	Quadro elétrico ar condicionado 6E
41		Q.E.6F	Quadro elétrico 6F
42		Q.E.A.C.6F	Quadro elétrico ar condicionado 6F
43		Q.E.6G	Quadro elétrico 6G
44		Q.E.A.C.6G	Quadro elétrico ar condicionado 6G
45		Q.E.6H	Quadro elétrico 6H
46		Q.E.A.C.6H	Quadro elétrico ar condicionado 6H
47	Piso 5	Q.E.V.5.1	Quadro elétrico ventilação 5.1
48		Q.E.V.5.2	Quadro elétrico ventilação 5.2
49		Q.G.D.5	Quadro geral distribuição piso 5
50		Q.E.5A	Quadro elétrico 5A
51		Q.E.A.C.5A	Quadro elétrico ar condicionado 5A
52		Q.E.5B	Quadro elétrico 5B
53		Q.E.A.C.5B	Quadro elétrico ar condicionado 5B
54		Q.E.5C	Quadro elétrico 5C
55		Q.E.A.C.5C	Quadro elétrico ar condicionado 5C
56		Q.E.5D	Quadro elétrico 5D
57		Q.E.A.C.5D	Quadro elétrico ar condicionado 5D
58		Q.E.5E	Quadro elétrico 5E
59		Q.E.A.C.5E	Quadro elétrico ar condicionado 5E
60		Q.E.5F	Quadro elétrico 5F
61		Q.E.A.C.5F	Quadro elétrico ar condicionado 5F
62		Q.E.5G	Quadro elétrico 5G
63		Q.E.A.C.5G	Quadro elétrico ar condicionado 5G
64		Q.E.5H	Quadro elétrico 5H
65		Q.E.A.C.5H	Quadro elétrico ar condicionado 5H
66	Piso 4	Q.E.V.4.1	Quadro elétrico ventilação 4.1
67		Q.E.V.4.2	Quadro elétrico ventilação 4.2
68		Q.G.D.4	Quadro geral distribuição piso 4
69		Q.E.4A	Quadro elétrico 4A
70		Q.E.A.C.4A	Quadro elétrico ar condicionado 4A
71		Q.E.4B	Quadro elétrico 4B
72		Q.E.A.C.4B	Quadro elétrico ar condicionado 4B
73		Q.E.4C	Quadro elétrico 4C
74		Q.E.A.C.4C	Quadro elétrico ar condicionado 4C
75		Q.E.4D	Quadro elétrico 4D
76		Q.E.A.C.4D	Quadro elétrico ar condicionado 4D
77		Q.E.4E	Quadro elétrico 4E
78		Q.E.A.C.4E	Quadro elétrico ar condicionado 4E
79		Q.E.4F	Quadro elétrico 4F

80		Q.E.A.C.4F	Quadro elétrico ar condicionado 4F
81		Q.E.4G	Quadro elétrico 4G
82		Q.E.A.C.4G	Quadro elétrico ar condicionado 4G
83		Q.E.4H	Quadro elétrico 4H
84		Q.E.A.C.4H	Quadro elétrico ar condicionado 4H
85		Q.E.4I	Quadro elétrico 4I
86		Q.E.A.C.4I	Quadro elétrico ar condicionado 4I
87		Q.E.4J	Quadro elétrico 4J
88		Q.E.A.C.4J	Quadro elétrico ar condicionado 4J
89		Q.E.V.3.1	Quadro elétrico ventilação 3.1
90		Q.E.V.3.2	Quadro elétrico ventilação 3.2
91		Q.G.D.3	Quadro geral distribuição piso 3
92		Q.E.3A	Quadro elétrico 3A
93		Q.E.A.C.3A	Quadro elétrico ar condicionado 3A
94		Q.E.3B	Quadro elétrico 3B
95		Q.E.A.C.3B	Quadro elétrico ar condicionado 3B
96		Q.E.3C	Quadro elétrico 3C
97		Q.E.A.C.3C	Quadro elétrico ar condicionado 3C
98		Q.E.3D	Quadro elétrico 3D
99		Q.E.A.C.3D	Quadro elétrico ar condicionado 3D
100	Piso 3	Q.E.3E	Quadro elétrico 3E
101		Q.E.A.C.3E	Quadro elétrico ar condicionado 3E
102		Q.E.3F	Quadro elétrico 3F
103		Q.E.A.C.3F	Quadro elétrico ar condicionado 3F
104		Q.E.3G	Quadro elétrico 3G
105		Q.E.A.C.3G	Quadro elétrico ar condicionado 3G
106		Q.E.3H	Quadro elétrico 3H
107		Q.E.A.C.3H	Quadro elétrico ar condicionado 3H
108		Q.E.3I	Quadro elétrico 3I
109		Q.E.A.C.3I	Quadro elétrico ar condicionado 3I
110		Q.E.3J	Quadro elétrico 3J
111		Q.E.A.C.3J	Quadro elétrico ar condicionado 3J
112		Q.E.V.2.1	Quadro elétrico ventilação 2.1
113		Q.E.V.2.2	Quadro elétrico ventilação 2.2
114		Q.G.D.2	Quadro geral distribuição piso 2
115		Q.E.2A	Quadro elétrico 2A
116		Q.E.A.C.2A	Quadro elétrico ar condicionado 2A
117		Q.E.2B	Quadro elétrico 2B
118	Piso 2	Q.E.A.C.2B	Quadro elétrico ar condicionado 2B
119		Q.E.2C	Quadro elétrico 2C
120		Q.E.A.C.2C	Quadro elétrico ar condicionado 2C
121		Q.E.2D	Quadro elétrico 2D
122		Q.E.A.C.2D	Quadro elétrico ar condicionado 2D
123		Q.E.2E	Quadro elétrico 2E
124		Q.E.A.C.2E	Quadro elétrico ar condicionado 2E

125		Q.E.2F	Quadro elétrico 2F
126		Q.E.A.C.2F	Quadro elétrico ar condicionado 2F
127		Q.E.2G	Quadro elétrico 2G
128		Q.E.A.C.2G	Quadro elétrico ar condicionado 2G
129		Q.E.2H	Quadro elétrico 2H
130		Q.E.A.C.2H	Quadro elétrico ar condicionado 2H
131		Q.E.2I	Quadro elétrico 2I
132		Q.E.A.C.2I	Quadro elétrico ar condicionado 2I
133		Q.E.2J	Quadro elétrico 2J
134		Q.E.A.C.2J	Quadro elétrico ar condicionado 2J
135	Piso 1	Q.E.1	Quadro elétrico 1
136		Q.E.A.C.1.1	Quadro elétrico ar condicionado 1.1.
137		Q.C.ASC.5	Quadro comando elevador 5
138		Q.C.M.1 ESC	Quadro Casa das Máquinas nº1 (Edifício)
139	Piso 0	Q.G.S.C. (ESC)	Quadro geral serviços comuns (Edifício)
140		Q.E.A.C.1 - HE	Quadro elétrico ar condicionado 1 (hall entrada)
141		Q.E.0	Quadro elétrico piso 0
142		Q.E.A.C.0.1	Quadro elétrico ar condicionado 0.1
143	Piso -1	Q.S.C.-1 (ESC)	Quadro serviços comuns piso -1 (Edifício)
144		Q.E.V.-1.3	Quadro elétrico ventilação -1.3
145	Piso -2	Q.S.C.-2 (ESC)	Quadro serviços comuns piso -2 (Edifício)
146	Piso -3	Q.S.C.-2 (ESC)	Quadro serviços comuns piso -3 (Edifício)

Tabela 4.2 - Quadros elétricos da Galeria Comercial

QUADROS ELÉTRICOS - GALERIA COMERCIAL			
Nº	**PISO**	**DESIGNAÇÃO**	
147	Cobertura	Q.E.V.1 (CC)	Quadro elétrico ventilador 1
148		Q.E.A.C. (CC)	Quadro elétrico ar condicionado (Galeria)
149		Q.C.M.2 (CC)	Quadro casa máquinas 2
150		Q.C.ASC.6	Quadro comando elevador 6
151		Q.C.ASC.7	Quadro comando elevador 7
152		Q.C.M.3. (CC)	Quadro casa máquinas 3
153		Q.C.ASC.8	Quadro comando elevador 8
154	Piso 1	Q.S.C.1 (CC)	Quadro serviços comuns piso1 (Galeria)
155		Q.G.D.1 (CC)	Quadro geral distribuição piso 1 (Galeria)
156		Q.E.L.22	Quadro elétrico loja 22
157		Q.E.L.23	Quadro elétrico loja 23
158		Q.E.L.24	Quadro elétrico loja 24
159		Q.E.L.25	Quadro elétrico loja 25
160		Q.E.L.26	Quadro elétrico loja 26
161		Q.E.L.28	Quadro elétrico loja 28
162		Q.E.L.29	Quadro elétrico loja 29
163		Q.E.L.30	Quadro elétrico loja 30

164		Q.E.L.31	Quadro elétrico loja 31
165		Q.E.L.32	Quadro elétrico loja 32
166		Q.E.L.33	Quadro elétrico loja 33
167		Q.E.L.34	Quadro elétrico loja 34
168		Q.E.L.35	Quadro elétrico loja 35
169		Q.E.L.36	Quadro elétrico loja 36
170		Q.E.L.37	Quadro elétrico loja 37
171		Q.E.L.38	Quadro elétrico loja 38
172		Q.E.L.39	Quadro elétrico loja 39
173		Q.E.L.40	Quadro elétrico loja 40
174		Q.E.L.41	Quadro elétrico loja 41
175		Q.E.L.42	Quadro elétrico loja 42
176		Q.E.L.43	Quadro elétrico loja 43
177		Q.E.L.44	Quadro elétrico loja 44
178		Q.EL Q.8	Quadro elétrico Q.8
179	Piso 0	Q.G.S.C. (CC)	Quadro geral serviços comuns (Galeria)
180		Q.E.R.2	Quadro elétrico R1
181		Q.E.R.1	Quadro elétrico R2
182		Q.E.A.C.2 (CC)	Quadro elétrico ar condicionado 2 (Galeria)
183		Q.G.D.0 (CC)	Quadro geral distribuição piso 0 (Galeria)
184		Q.E.L.1	Quadro elétrico loja 1
185		Q.E.L.2	Quadro elétrico loja 2
186		Q.E.L.3	Quadro elétrico loja 3
187		Q.E.L.4	Quadro elétrico loja 4
188		Q.E.L.5	Quadro elétrico loja 5
189		Q.E.L.6	Quadro elétrico loja 6
190		Q.E.L.7	Quadro elétrico loja 7
191		Q.E.L.8	Quadro elétrico loja 8
192		Q.E.L.9	Quadro elétrico loja 9
193		Q.E.L.10	Quadro elétrico loja 10
194		Q.E.L.11	Quadro elétrico loja 11
195		Q.E.L.12	Quadro elétrico loja 12
196		Q.E.L.13	Quadro elétrico loja 13
197		Q.E.L.14	Quadro elétrico loja 14
198		Q.E.L.15	Quadro elétrico loja 15
199		Q.E.L.16	Quadro elétrico loja 16
200		Q.E.L.17	Quadro elétrico loja 17
201		Q.E.L.18	Quadro elétrico loja 18
202		Q.E.L.19	Quadro elétrico loja 19
203		Q.E.L.20	Quadro elétrico loja 20
204		Q.E.L.21	Quadro elétrico loja 21
205		Q.EL.Q1	Quadro elétrico Q1
206		Q.EL.Q2	Quadro elétrico Q2
207		Q.EL.Q3	Quadro elétrico Q3
208		Q.EL.Q4	Quadro elétrico Q4

209		Q.EL.Q5	Quadro elétrico Q5
210		Q.EL.Q6	Quadro elétrico Q6
211		Q.EL.Q7	Quadro elétrico Q7
212		Q.EL.1C1	Quadro elétrico 1C1
213	Piso -1	Q.S.C.-1	Quadro serviços comuns piso -1
214	Piso -2	Q.S.C-2	Quadro serviços comuns piso -2
215	Piso -3	Q.S.C.-3	Quadro serviços comuns piso -3
216	Piso -4	Q.S.C.-4	Quadro serviços comuns piso -4

Tabela 4.3 - Quadros elétricos do Parque de Estacionamento

QUADROS ELÉTRICOS - PARQUE ESTACIONAMENTO			
Nº	**PISO**	**DESIGNAÇÃO**	
217	Piso 0	Q.S.C.0.1 S.EMERG	Quadros serviços comuns 0.1 saída emergência
218		Q.S.C.0.2 S.EMERG	Quadros serviços comuns 0.2 saída emergência
219		Q.S.C.0.3 S.EMERG	Quadros serviços comuns 0.3 saída emergência
220		Q.A.EXT	Quadro alimentação externa
221	Piso -1	Q.G.G. -1	Quadro geral garagem piso -1
222		Q.E.V.-1.1	Quadro elétrico ventilação -1.1
223		Q.E.V.-1.2	Quadro elétrico ventilação -1.2
224		Q.E.-1	Quadro elétrico piso -1
225		Q.E.C.S.	Quadro elétrico central segurança
226		Q.I.F.	Quadro Iluminação Fachadas
227		Q.G.S.C.-1	Quadro geral serviços comuns piso -1
228		Q.ILUMI.EXTERIOR	Quadro iluminação exterior
229		Q.C.BOMB.TRANSFEGA	Quadro comando bomba transfega
230		Q.E.A.1	Quadro elétrico arrumos 1
231		Q.E.A.2	Quadro elétrico arrumos 2
232		Q.CX P.	Quadro caixa pagamentos
233		Q.E.101	Quadro elétrico 101
234		Q.E.102	Quadro elétrico 102
235		Q.E.103	Quadro elétrico 103
236		Q.E.104	Quadro elétrico 104
237		Q.E.106	Quadro elétrico 106
238	Piso -2	Q.P.G.-2	Quadro piso geral -2
239		Q.E.V.-2.1	Quadro elétrico ventilação -2.1
240		Q.E.V.-2.2	Quadro elétrico ventilação -2.2
241		Q.E.V.-2.3	Quadro elétrico ventilação -2.3
242		Q.S.A.-2 (Gerador)	Quadro serviços auxiliares piso -2 (gerador)
243	Piso -3	Q.P.G.-3	Quadro piso geral -3
244		Q.E.V.-3.1	Quadro elétrico ventilação -3.1
245		Q.E.V.-3.2	Quadro elétrico ventilação -3.2
246	Piso -4	Q.P.G.-4	Quadro piso geral -4
247		Q.E.V.-4.1	Quadro elétrico ventilação -4.1

248	Q.C.BOMB.INC.	Quadro comando bomba incêndio
249	Q.C.BOMB.A.P.	Quadro comando bomba água potável
250	Q.C.BOMB.A.R.	Quadro comando águas residuais
251	Q.C.BOMB.A.A.	Quadro comando bomba água alimentação
252	Q.C.BOM. POCO. ELEV.8	Quando comando bomba poço elevador 8

➢ **Baterias de Condensadores**

Distribuídas pelas instalações, existem três áreas técnicas, onde se encontram instaladas as baterias de condensadores, nomeadamente no piso 0 do Galeria Comercial próximo do Q.G.S.C. (CC), piso 0 do edifício de escritórios próximo do Q.G.S.C. (ESC) e por último, no piso -1, no parque de estacionamento, próximo do Q.G.G.-1 e do Q.G.S.C.-1.

A caraterísticas técnicas das baterias de condensadores, podem ser consultadas na tabela seguinte.

Tabela 4.4- Baterias de condensadores instaladas no local

Marca	Zona	Potência (kVAr)	Tensão (V)	Nº Condensadores	Potência instalada/Bateria
RTR	Piso 0 (CC)	20	440	4	95
		10	440	1	
		5	440	1	
RTR	Piso 0 (ESC)	25	440	4	100
CYDESA	Piso -1 Parque Estacionamento	5	400	1	25
		10	400	2	

- Potência Total instalada = 220 kVar

4.4.2. AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

➢ **Bombas Águas de Consumo**

O abastecimento de água potável ao edifício e galeria comercial é realizado através de dois grupos de bombagem, totalizando 4 bombas, instaladas na mesma zona técnica que a central de bombagem de incêndio (Piso -4).

Tabela 4.5 - Bombas de Abastecimento de Águas Cisternas

BOMBAS ABASTECIMENTO DE ÁGUA – CISTERNAS			
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**LOCAL**
1	BOMBA 1 - GRUPO N.º1 GALERIA COMERCIAL/ESCRITÓRIOS PISO 0 A 4	4,4	Central de bombagem (Piso -4)
2	BOMBA 2 - GRUPO N.º1 GALERIA COMERCIAL/ESCRITÓRIOS PISO 0 A 4	4,4	
3	BOMBA 3 - GRUPO N.º2 ESCRITÓRIOS PISO 5 ATÉ À COBERTURA	5,5	
4	BOMBA 4 - GRUPO N.º2 ESCRITÓRIOS PISO 5 ATÉ À COBERTURA	5,5	

- **Bombas Águas Incêndio**

A central de bombagem S.I (Serviço de Incêndio) é composta por 3 bombas, com diferentes potências. Um grupo principal, um grupo de reserva e um grupo Jockey, conforme representado na tabela 4.6.

A bomba Jockey tem a particularidade de manter o sistema pressurizado, comandado por um pressostato, compensando variações de pressão resultantes de pequenas fugas na instalação. Esta deve ser utilizada em exclusive para este efeito pelo que o caudal a selecionar deve ser reduzido.

Tabela 4.6 – Bombas de Água de Incêndio

BOMBAS ÁGUAS INCÊNDIO			
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**LOCAL**
1	BOMBA 1	7,4	Central de bombagem (Piso -4)
2	BOMBA 2	9,6	
3	BOMBA "Jockey"	2,2	

Quanto às bombas de águas residuais, apenas foi possível fazer a sua contagem, devido ao difícil acesso aos equipamentos, por estes se encontrarem instalados na zona de fossas não sendo possível recolher informação acerca das suas potências. O mesmo se verificou para as bombas das águas pluviais. Existem 3 bombas de águas pluviais e 3 bombas de águas residuais.

- **Bomba Águas Pluviais**

Tabela 4.7 - Bombas de Águas Pluviais

BOMBA ÁGUAS PLUVIAIS		
Nº	**EQUIPAMENTO**	**Potência (kW)**
1	BOMBA 1	Desconhecida
2	BOMBA 2	
3	BOMBA 3	

- **Bombas Águas Residuais**

Tabela 4.8 – Bombas de Águas Residuais

BOMBA ÁGUAS RESIDUAIS		
Nº	**EQUIPAMENTO**	**Potência (kW)**
1	BOMBA 1	Desconhecida
2	BOMBA 2	
3	BOMBA 3	

- **Bombas Calor e Frio**

Tabela 4.9 - Bombas de Calor e Frio

BOMBAS CALOR E FRIO			
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**LOCAL**
1	BOMBA 1	3	Central de bombagem (cobertura da galeria)
2	BOMBA 2	3	
3	BOMBA 3	3	

- **Ventiladores de Pressurização**

Os ventiladores de pressurização, responsáveis pela desenfumagem das escadarias do edifício e da galeria comercial, contabilizam-se 12, sendo que na zona de cobertura da galeria e no parque de estacionamento não foi possível recolher informação da potência dos respetivos motores, por inexistência de chapa de caraterísticas e dificuldades de acesso aos mesmos.

Tabela 4.10 – Ventiladores de Pressurização

VENTILADORES PRESSURIZAÇÃO			
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**LOCAL**
1	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO 1	0,55	Cobertura do Edifício
2	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO 2	0,55	
3	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO 3	0,55	
4	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO 4	0,55	
5	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO 5	Desconhecido	Cobertura do CC
6	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-1.1		Parque
7	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-1.2		
8	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-2.1		
9	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-2.2		
10	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-3.1		
11	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-3.2		
12	VENTILADOR DE PRESSURIZAÇÃO P-4		

- **Ventiladores de Insuflação**

Os ventiladores de insuflação apenas se encontram presentes no edifício. Contabilizam-se 10 TVI (Termoventiladores de insuflação).

Tabela 4.11 – Ventiladores de Insuflação

VENTILADORES INSUFLAÇÃO				
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**PISO**	**LOCAL**
1	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 6.1	3,99	6	EDIFÍCIO
2	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 5.1	3,99	5	
3	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 4.1	3,99	4	
4	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 3.1	3,99	3	
5	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 2.1	3,99	2	
6	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 6.2	2,69	6	
7	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 5.2	2,69	5	
8	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 4.2	2,69	4	
9	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 3.2	2,69	3	
10	TERMOVENTILADOR DE INSUFLAÇÃO 2.2	2,69	2	

- **UTA's - Unidades de Tratamento de AR**

As UTA's (Unidades de tratamento de ar) encontram-se instaladas nos tetos da galeria, distribuídos pelos pisos 0 e 1. Existem ao todo, 7 UTA's.

Tabela 4.12 – UTAS (Unidades de Tratamento de Ar)

UTAS (UNIDADES TRATAMENTO AR)			
Nº	**POTÊNCIA (kW)**	**PISO**	**LOCAL**
1	3,99	0	Galeria
2	3,99	0	
3	0,58	1	
4	0,58	1	
5	0,58	1	
6	0,58	1	
7	3,99	1	

- **Ventiladores de Extração**

Os ventiladores de extração estão presentes na zona do edifício e no parque de estacionamento, totalizando 22 equipamentos. Por motivos já referidos, também houve dificuldade em reconhecer as potências do equipamento devido aos respetivos motores se encontrarem embutidos.

Tabela 4.13 - Ventiladores de Extração

VENTILADORES EXTRAÇÃO			
Nº	**EQUIPAMENTO**	**POTÊNCIA (kW)**	**LOCAL**
1	VENTILADOR EXTRACÇÃO 2.1	0,25	EDIFICIO
2	VENTILADOR EXTRACÇÃO 2.2	0,25	
3	VENTILADOR EXTRACÇÃO 3.1	0,25	
4	VENTILADOR EXTRACÇÃO 3.2	0,25	
5	VENTILADOR EXTRACÇÃO 4.1	0,25	
6	VENTILADOR EXTRACÇÃO 4.2	0,25	
7	VENTILADOR EXTRACÇÃO 5.1	0,25	
8	VENTILADOR EXTRACÇÃO 5.2	0,25	
9	VENTILADOR EXTRACÇÃO 6.1	0,25	
10	VENTILADOR EXTRACÇÃO 6.2	0,25	
11	VENTILADOR DE EXTRAÇÃO COBERTURA 1	0,55	
12	VENTILADOR DE EXTRAÇÃO COBERTURA 2	0,55	
13	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -1.1	Desconhecido	P-1
14	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -1.2		P-1

15	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -1.3	P-1
16	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -2.1	P-2
17	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -2.2	P-2
18	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -2.3	P-2
19	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -2.4	P-2
20	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -3.1	P-3
21	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -3.2	P-3
22	VENTILADOR DE EXTRACÇÃO -4.1	P-4

4.4.3. Equipamentos de elevação

- **Elevadores e Escadas Mecânicas**

Quanto aos equipamentos de elevação, na zona comercial existem duas escadas rolantes instaladas e dois elevadores (nº 6 e nº 7), que permitem o acesso entre o piso -4 e piso 1.

Existe também dois elevadores de carga. Um localizado na zona da galeria comercial e outro localizado no edifício de escritórios.

O edifício possui ainda, quatro elevadores, sendo dois deles panorâmicos (nº 3 e nº4).

Apresenta-se de seguida uma tabela com as caraterísticas técnicas de cada equipamento de elevação referido, bem como os pisos afetadas pelos mesmos.

Tabela 4.14 – Equipamentos de elevação presentes nas instalações

EQUIPAMENTOS DE ELEVAÇÃO			
EQUIPAMENTOS	**DESCRIÇÃO**	**POTÊNCIA (kW)**	**PISOS**
Elevadores	Elevador 1 (carga)	12,5	P-4/P9
	Elevador 2	12,5	P0/P9
	Elevador 3 (panorâmico)	22,5	P0/P9
	Elevador 4 (panorâmico)	22,5	P0/P9
	Elevador 5	10	P-4/P0
	Elevador 6	12,5	P-4/P1
	Elevador 7	12,5	P-4/P1
	Elevador 8 (carga)	10	P-4/P1
Escadas Mecânicas	Escada Rolante nº1	7,5	CC (P0 - P1)
	Escada Rolante nº2	7,5	CC (P0 - P1)

Capítulo 5

Apresentação dos Resultados

5.1. Critérios de análise dos dados recolhidos

No sentido de se analisar os dados recolhidos das instalações, existe a necessidade de serem definidos diversos critérios. Nesse sentido, identificou-se as normas relevantes para análise, tendo sido definidos os seguintes critérios:

- Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão $(\mathrm{THD_V})$;
- Valor máximo de distorção harmónica de corrente $(\mathrm{THD_I})$ e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de corrente;
- Valores máximos dos harmónicos de tensão;
- Compensação de energia reativa;
- Instalação do equipamento de análise;

5.1.1. Critério 1 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão $(\mathrm{THD_V})$

O critério aplicado está referenciado no IEEE standard 519-1992 [14], sendo que para as instalações onde se realizaram as medições elétricas, o sistema considerado é o Sistema Geral.

Este sistema define um limite máximo de $\mathrm{THD_V}$ de 5 %.

Tabela 5.1 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão [14]

	Aplicações especiais*	Sistema Geral	Sistema dedicado**
THDV	3 %	5%	10%

*Aplicações especiais incluem hospitais e aeroportos

** Sistema dedicado para o conversor de carga

5.1.2. Critério 2 – Valor máximo de distorção harmónica de corrente ($\mathrm{THD_I}$) e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de corrente

O critério do valor máximo de $\mathrm{THD_I}$ está referenciado no IEEE standard 519-1992 [14].

De modo a determinar o valor máximo de $\mathrm{THD_I}$ foi necessário calcular a relação da corrente de curto-circuito ($\mathrm{I_{cc}}$) com a corrente fundamental calculada ($\mathrm{I_l}$).

Para o cálculo da corrente de curto-circuito foi fornecido o valor da potência de curto-circuito máximo ($S_{cc} = 15\ \mathrm{MVA}$) na rede BT alimentada pelo PTD 874 pela EDP Distribuição para a área das instalações.

Apresentam-se a seguir os cálculos auxiliares realizados:

- $$\mathrm{I_{CC}} = \frac{1000 \times \mathrm{S_{CC}(MVA)}}{\sqrt{3} \times \mathrm{U_n(kV)}} = \frac{1000 \times 15}{\sqrt{3} \times 0{,}4} = 21650{,}64\ \mathrm{A} \quad (5.1)$$

- $$\mathrm{I_L} = \frac{1000\ \mathrm{kW}}{\mathrm{FP} \times \sqrt{3} \times \mathrm{U_N(kV)}} = \frac{1000}{1 \times \sqrt{3} \times 0{,}4} = 1443{,}38\ \mathrm{A} \quad (5.2)$$

- $$\frac{\mathrm{I_{CC}}}{\mathrm{I_L}} = \frac{21650{,}64}{1443{,}38} = 15 \quad (5.3)$$

Tendo em conta o resultado da equação 5.3, verifica-se na tabela 5.2 que o valor limite da $\mathrm{THD_I}$ é de 5% e que o limite máximo das correntes harmónicas individuais é de 4%, visto só se ter analisado os harmónicos de 3ª, 5ª e 7ª ordem (n<11).

Tabela 5.2 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de corrente e máximo valor das correntes harmónicas individuais [14]

Máxima corrente harmónica em % da corrente de carga						
	Harmónicos Ímpares					
$\frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}}$	n < 11	$11 \leq n < 23$	$23 \leq n < 25$	$25 \leq n < 35$	$n \geq 35$	$\mathrm{THD_i}(\%)$
$\frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}} < \mathbf{20}$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$\mathbf{20} < \frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}} < \mathbf{50}$	7	3,5	2,5	1,0	0,5	8
$\mathbf{50} < \frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}} < \mathbf{100}$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$\mathbf{100} < \frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}} < \mathbf{1000}$	12	5,5	5	2	1	15
$\frac{\mathbf{I_{cc}}}{\mathbf{I_l}} > \mathbf{1000}$	15	7	6	2,5	1,4	20

Legenda:

- I_{cc} – Corrente de curto-circuito;
- I_l – Valor da componente fundamental da corrente;
- THD_r – Taxa de distorção harmónica de corrente;
- n – Ordem do harmónico;

5.1.3. Critério 3 – Valor máximo dos harmónicos de tensão

A definição do valor máximo para os harmónicos de tensão, está referenciada na norma EN50160 [1], que estabelece para cada ordem harmónica uma amplitude relativa (valor limite).

Tabela 5.3 - Valores das tensões harmónicas de tensão [1]

Valores das tensões harmónicas individuais nos pontos de entrega até à ordem 25 expressas em percentagem da tensão fundamental U_1					
Harmónicos impares					Harmónicos Pares
Não múltiplos de 3		Múltiplo de 3			
Ordem h	Amplitude relativa U_h	Ordem h	Amplitude relativa U_h	Ordem h	Amplitude relativa U_h
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 %				

5.1.4. Critério 4 - Compensação de energia reativa

Para os valores limite de fator de potência foi considerado o despacho da ERSE 7253/2010 [9] no qual é estabelecida a mudança de limites, relativamente ao fator de potência, a mudança da forma de faturação, ou seja passaria a ser faturada a tangente de φ em vez do cosseno e os fatores multiplicativos consoante a tangente aumenta.

Tabela 5.4 - Intervalos de faturação da energia reativa [9]

$\tan\varphi$	Fator de Potência	Fator multiplicador
0,3 – 0,4	0,96	1/3
0,4 – 0,5	0,93	1
> 0,5	0,89	3

5.1.5. Critério 5 – Instalação/medição do equipamento de análise da energia elétrica

Na recolha de dados para a análise do comportamento da instalação, em termos de qualidade de energia é necessário um equipamento com funcionalidades que permitam a leitura dos seguintes parâmetros elétricos:

- Tensão nas fases (V_1, V_2, V_n);
- Corrente nas fases e no neutro (I_1, I_2, I_3, I_n);
- Potência ativa total (P_t);
- Potência reativa total (Q_t);
- Potência aparente (S);
- Fator de Potência (FP);
- Taxa de distorção harmónica $(THDV, THDI)$;
- Harmónicos de tensão e de corrente $(H_{xx}V, H_{xx}I)$;

Durante os registos dos parâmetros selecionados, formatou-se o equipamento para gravação de dados a cada 15 minutos, num intervalo de aproximadamente 48 horas.

A figura 5.1 representa a forma de instalação do equipamento para uma correta recolha dos dados a analisar.

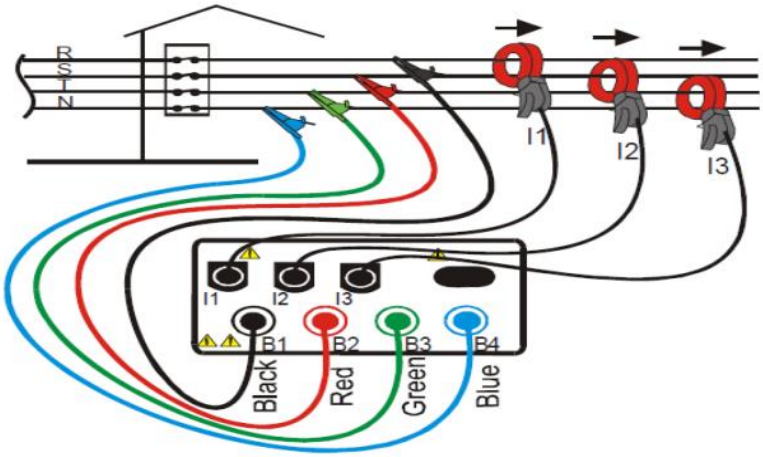

Figura 5.1 – Modo de instalação do equipamento de análise [24]

5.2. Análise dos dados recolhidos

Em resultado do estudo do diagrama de distribuição de energia [23], definiu-se um conjunto de pontos estratégicos de análise dos quadros elétricos, considerados representativos da instalação.

Dada a constituição da mesma, área de serviços e comércio, nomeadamente, lojas comerciais, zonas de restauração, bancos, escritórios e parque de estacionamento, optou-se assim, por fazer um estudo aos quadros gerais de serviços comuns e ao quadro de AVAC, de modo a conseguir obter o máximo de informação e o mais detalhada possível para o estudo da qualidade de energia da instalação em causa.

Para tal, foi instalado o analisador de redes, nos seguintes quadros elétricos:

- **Q.G.S.C (CC)** – Quadro Geral Serviços Comuns Galeria Comercial;
- **Q.G.S.C. (ESC)** – Quadro Geral Serviços Comuns Edifício;
- **Q.E.A.C. (CC)** – Quadro Elétrico Ar Condicionado Galeria Comercial;
- **Q.G.G.-1** – Quadro Geral Garagem Piso -1;
- **Q.G.S.C.-1** – Quadro Geral Serviços Comuns Piso -1.

Durante a análise dos resultados, nomeadamente taxas de harmónicos e harmónicos individuais, será utilizada um código de cores, juntamente com informação de estado face aos limites técnicos impostos pelos regulamentos [1],[14]:

- Verde para estado OK, estado correto, válido, dentro dos limites;
- Vermelho para estado NOK, "*not OK*", estado incorreto, inválido, fora dos limites.

Quanto à análise do fator de potência, dos diversos quadros elétricos em estudo, será abordada na seção 5.3., onde é analisado a correção do FP, dado envolver informações anexas às medições elétricas que se realizaram.

Será proposto uma solução para responder aos diversos fatores de potência registados, de modo a compensar a energia reativa consumida e fornecida pelo cliente à rede elétrica.

5.2.1. Q.G.S.C (CC) - Quadro Geral Serviços Comuns Galeria Comercial

O estudo da qualidade de energia realizada ao Q.G.S.C. (CC) realizou-se num período aproximado de 48 horas, com o objetivo de melhor compreender e analisar algum distúrbio de energia presente na Galeria Comercial, possivelmente provocado pelos diferentes modos de operação dos equipamentos aos quais está ligado.

O Q.G.S.C.(CC) alimenta os quadros gerais de distribuição dos pisos 0 e 1, os quadros elétricos de ventilação e ar condicionado da Galeria, bem como os quadros elétricos das casas das máquinas.

Durante o período de análise, registou-se uma potência máxima de 109,7 kVA, e uma média de consumos por fases a rondar os 47,5 A.

Concluiu-se que as cargas não se encontram totalmente equilibradas e registaram-se valores de corrente de neutro elevadas, cerca de 26,5 % da corrente máxima medida (108,3 A), como se pode observar nos dois gráficos seguintes.

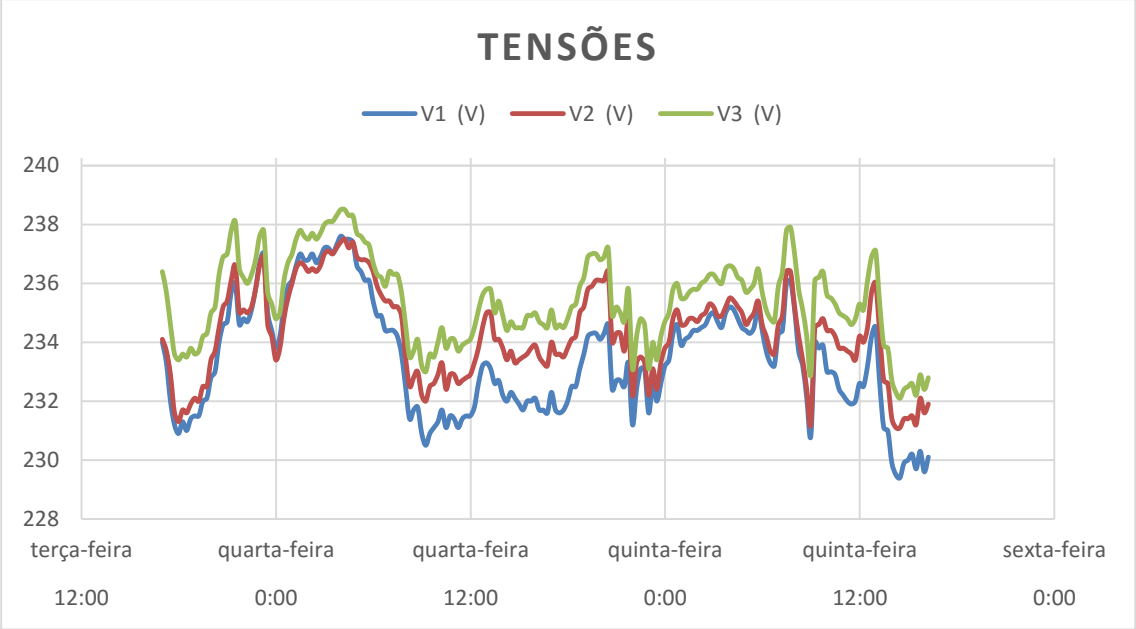

Figura 5.2 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C. (CC)

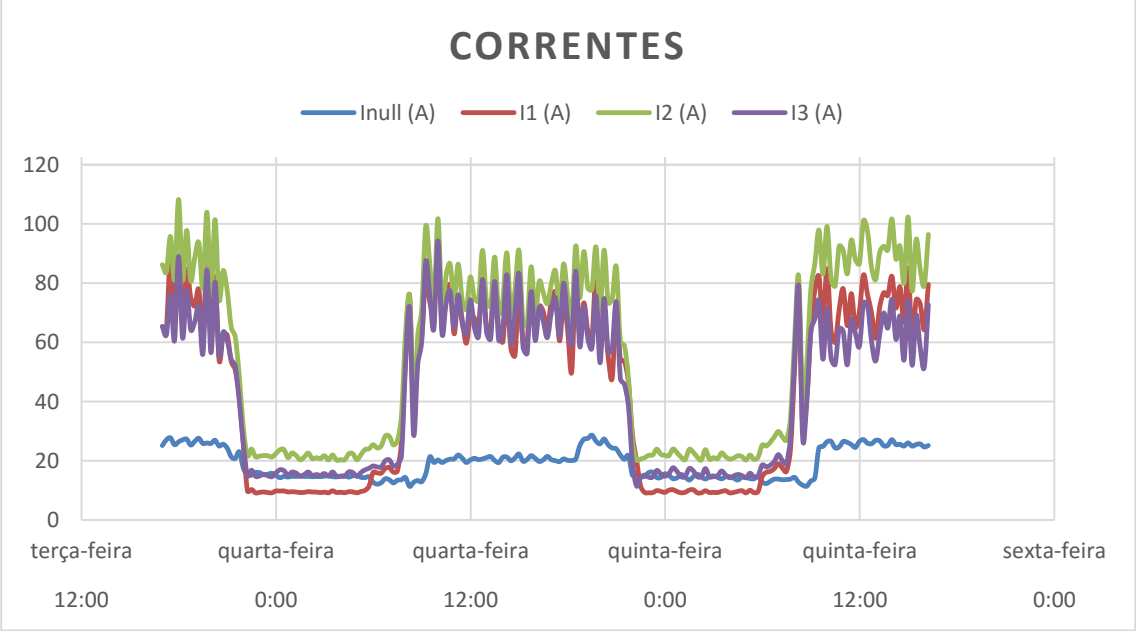

Figura 5.3 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C. (CC)

A maioria dos consumos, observados, ocorrem em períodos de funcionamento da galeria comercial, nomeadamente entre as 09:00h e as 21:00h, sensivelmente.

Observa-se também, que para os períodos de vazio, entre as 22:00h e as 08:00h, o consumo registado em todas as fases é significativamente menor. No entanto, o valor de corrente no neutro continua aproximadamente igual ao valor de corrente na fase 3 e até mesmo superior ao valor de corrente na fase 1.

O elevado valor de corrente no neutro também é originado pela presença de harmónicos na instalação, como se irá demonstrar.

No que diz respeito ao estudo da distorção harmónica na galeria comercial, este foi dividido em taxa harmónica de distorção de tensão (THDV) e taxa harmónica de distorção de corrente (THDI), bem como o estudo dos harmónicos individuais de tensão e corrente nas ordens 3,5 e 7.

Quanto à THDV, o máximo que se registou está na ordem dos 2,8%, não violando o limite que o IEEE standard 519 define (5%).

Quanto à THDI, observa-se uma notória ultrapassagem dos limites técnicos impostos, em cerca de 3,6 a 4,3 vezes mais, atingindo um valor máximo de 21,3% de taxa de distorção harmónica de corrente na fase 3.

Pela análise gráfica, é bastante percetível, o elevado grau de distorção harmónica de corrente registada no Q.G.S.C. da galeria comercial.

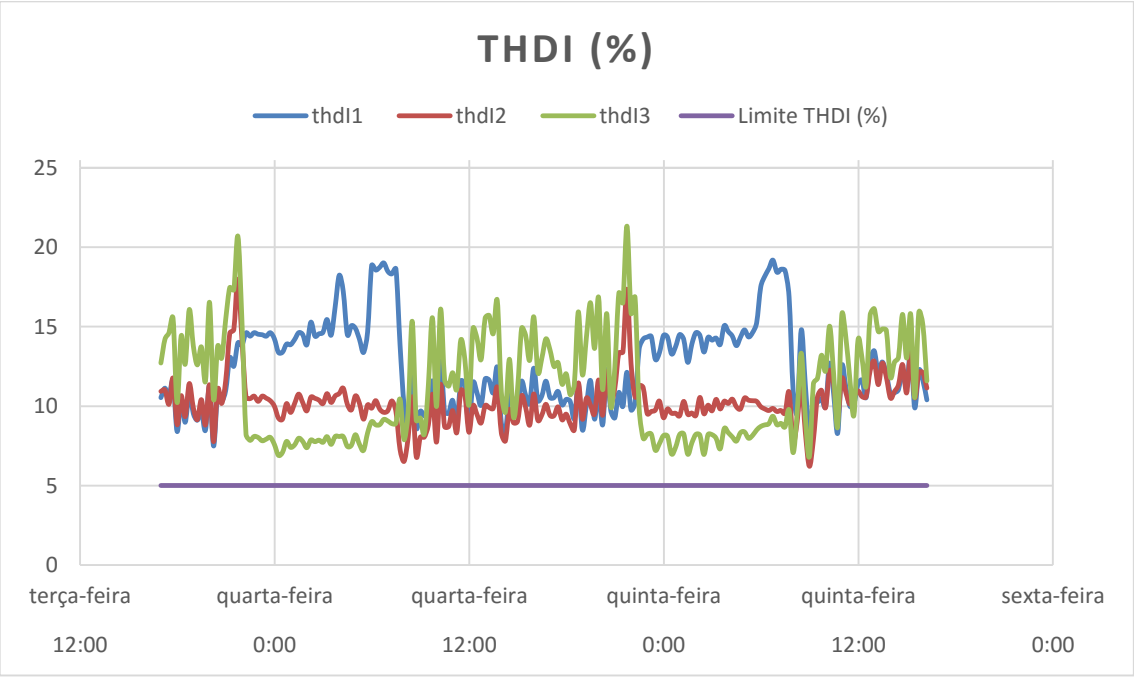

Figura 5.4 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C. (CC)

Os valores máximos de THDV e THDI, apresentam-se na tabela, de seguida.

Tabela 5.5 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C. (CC)

	Valor Máximo (%)		Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	2,7	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	2,8	OK	-	
	thdV3	2,7	OK	-	
THDI	thdI1	19,2	NOK	3,8	
	thdI2	18,0	NOK	3,6	
	thdI3	21,3	NOK	4,3	

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.6 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.P.0 (CC)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	2,42	OK	-	h03 - 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	5,37	OK	-	
		h07V1	3,23	OK	-	
	FASE 2	h03V2	2,57	OK	-	
		h05V2	5,62	OK	-	
		h07V2	3,38	OK	-	
	FASE 3	h03V3	1,58	OK	-	
		h05V3	5,35	OK	-	
		h07V3	3,43	OK	-	

Tabela 5.7 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.S.C. (CC)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	3,01	OK	-	4%
		h05I1	4,47	NOK	1,1	
		h07I1	5,97	NOK	1,5	
	FASE 2	h03I2	6,06	NOK	1,5	
		h05I2	4,63	NOK	1,2	
		h07I2	4,84	NOK	1,2	
	FASE 3	h03I3	3,43	OK	-	
		h05I3	6,30	NOK	1,6	
		h07I3	5,75	NOK	1,4	

Os harmónicos de tensão encontram-se dentro dos limites técnicos.

No que diz respeito aos harmónicos de corrente, o cenário é bastante diferente. Praticamente todos harmónicos, com exceção do 3º harmónico das fases 1 e 3, encontram-se aquém do limite imposto (4%). Constata-se um valor máximo de 6,3% no harmónico h05I3, o que corresponde a 1,6 vezes superior ao limite definido.

Regista-se ainda, que os harmónicos de corrente ocorrem sensivelmente durante os períodos de maior consumo ocorridos, realçando os valores do 5º e 7º harmónicos que provocam o aumento da corrente de neutro, com origem na iluminação LED e equipamentos com conversão AC/DC, tipicamente as UTA's (unidades de tratamento de ar) e os elevadores.

5.2.2. Q.G.S.C. (ESC – Geral Normal) - Quadro Geral Serviços Comuns (Edifício – circuito geral normal)

Concluída a análise dos parâmetros no Q.G.S.C (CC), focou-se o estudo no Quadro Geral de Serviços Comuns do Edifício, Q.G.S.C. (ESC). Para um estudo mais detalhado, recolheu-se dados do circuito geral normal e do circuito dos elevadores, de modo a tentar perceber e extrair conclusões do comportamento e que influência os seus equipamentos provocam na qualidade da energia elétrica.

A análise do circuito geral do Q.G.S.C (ESC), realizou-se ao longo de aproximadamente 5 dias, incluindo Sábado e Domingo. Este regime de estudo de dados, foi apenas uma exceção, sendo o normal programado para dois ou três dias, sensivelmente.

A decisão de prolongar os dias de medição, justifica-se pela recolha de dados ter sido iniciada numa sexta-feira, havendo a necessidade de estender o estudo para mais dias uteis, uma vez que a configuração do edifício, permite obter dados mais representativos em dias uteis, ao invés de fim de semanas.

O edifício é composto essencialmente por escritórios de empresas, elevadores com acesso aos mesmos e ao parque de estacionamento comum à zona da galeria comercial, bem como zonas de acesso partilhado. O comportamento da instalação apresenta alguma periodicidade, com exceção do Domingo, considerado pela maior parte das empresas, como dia de descanso semanal.

Apresenta-se o gráfico de potências, registado no período de análise.

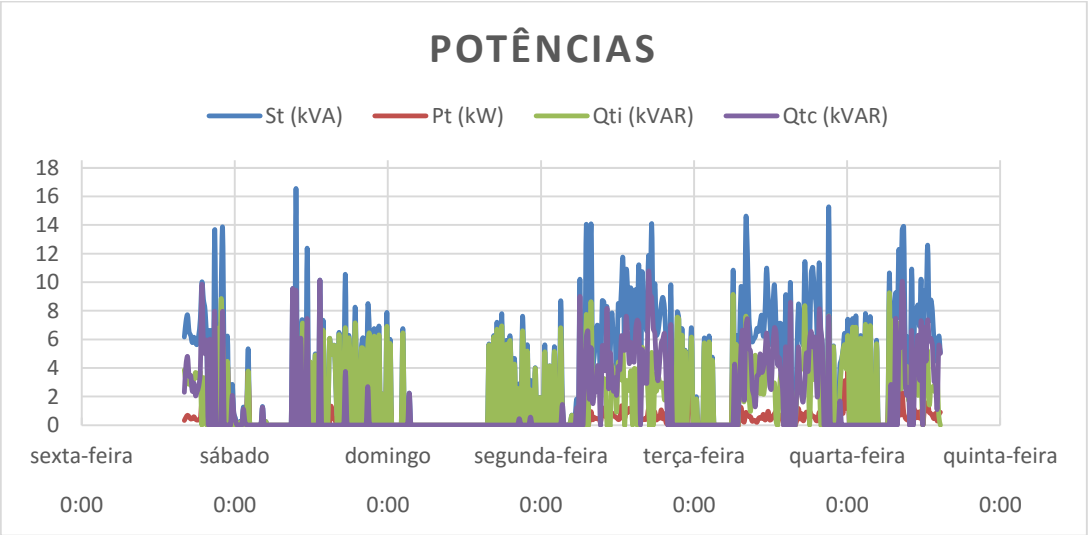

Figura 5.5 - Gráfico de Potências medidas no Q.G.S.C. (ESC - Geral)

Verifica-se que o pico de potência, ocorre a um Sábado, por volta das 9:30h, com valores de 16,55 kVA. Ao longo da semana, os máximos registados rondam os valores de 14 kVA, por volta das e 7 ou 8 horas da manhã, e ao final da tarde, 18 horas, o que corresponde à maioria dos horários de entrada e saída dos funcionários que trabalham no edifício. É neste intervalo de tempo que existe um maior consumo de equipamentos, nomeadamente, equipamento informático, iluminação e os constantes arranques dos motores dos elevadores, que suportam o acesso aos diferentes pisos.

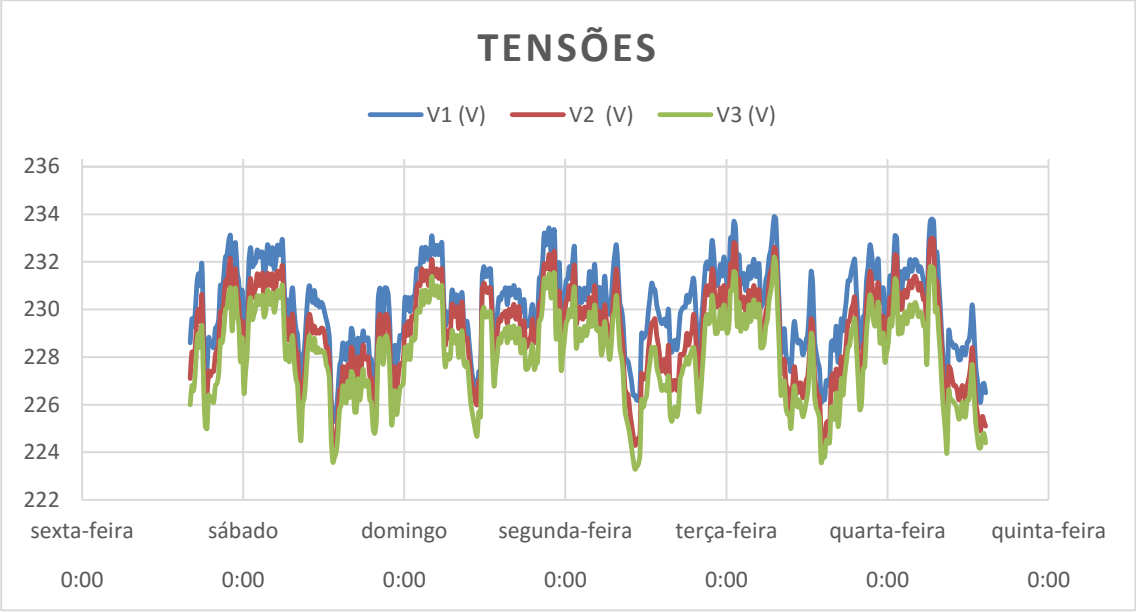

Figura 5.6 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C. (ESC. – Geral)

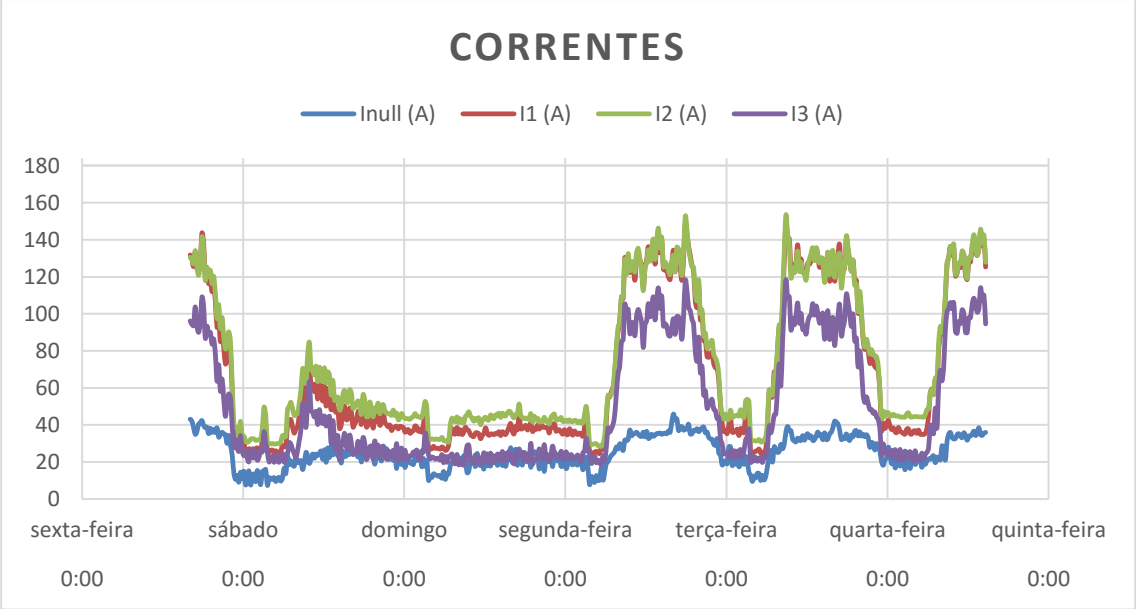

Figura 5.7 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C. (ESC – Geral)

No que diz respeito ao estudo das tensões e correntes, verifica-se um desequilíbrio de fases, traduzindo-se em valores elevados da corrente do neutro (45,8 A), o que representa cerca de 30% do valor máximo obtido na corrente de fase 2. A média máxima das correntes das 3 fases ronda os 140 A. Além disso, como seria de esperar a maioria dos consumos registados, acontece em dias da semana, com idêntica periodicidade, verificando que os picos de corrente de neutro acontecem em alturas em que existe um maior desfasamento de corrente entre as fases. Tal acontece, devido às cargas não se encontrarem equilibradas, somando essa diferença, ou desvios entre fases, no condutor neutro.

Esta elevada corrente no neutro, será prejudicial para os equipamentos instalados no edifício, como se comprovará mais em diante.

Quanto à taxa harmónica de distorção, a THDI apresenta-se severamente elevada face aos limites máximos admissíveis pelo IEEE standard 519-1992 (5%) [14], como se pode observar no gráfico abaixo representado.

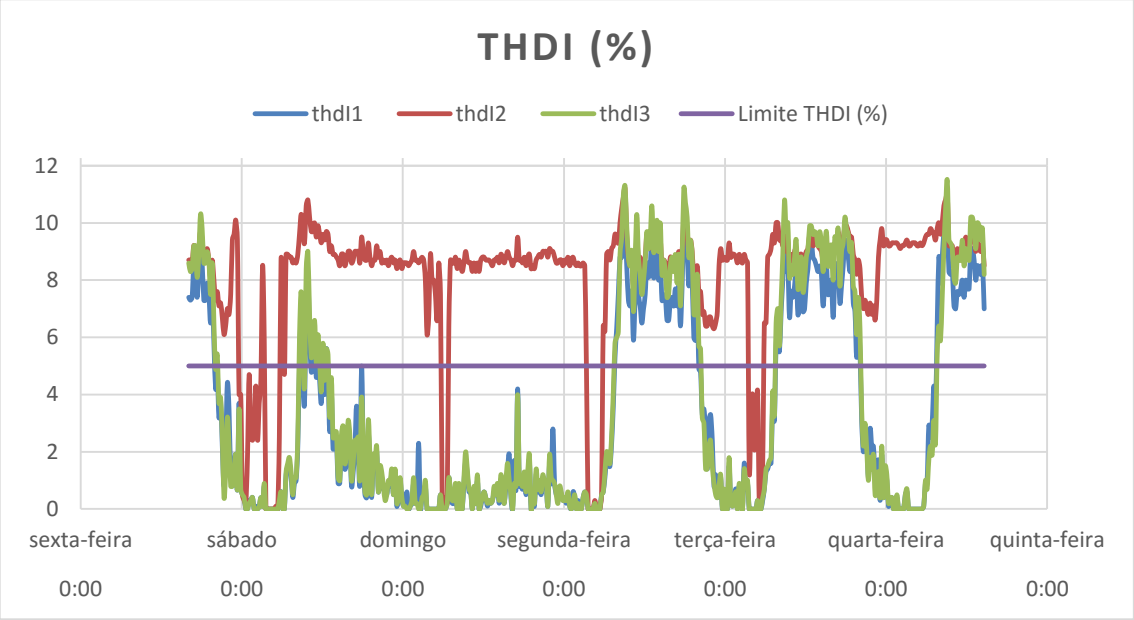

Figura 5.8 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C. (ESC – Geral)

A THDI apresenta sensivelmente valores duas vezes superior ao limite de 5%, na maior parte do período de análise com exceção de thdI1 e thdI3 no intervalo de tempo entre 12:00h de sábado até às 8:30 de segunda-feira, expectável por se encontrar com menor número e potência de equipamentos ligados à rede, também demonstrado pelo menor consumo no mesmo intervalo de análise. Quanto à THDV, não existem limites ultrapassados, conforme se pode comprovar na tabela seguinte. A mesma, apresenta também os valores máximos registados para as THD (corrente e tensão) nas 3 fases medidas.

Tabela 5.8 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C (ESC – Geral)

		Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	3,3	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	2,9	OK	-	
	thdV3	3,0	OK	-	
THDI	thdI1	10,3	NOK	2,1	
	thdI2	11,2	NOK	2,2	
	thdI3	11,5	NOK	2,3	

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.9 – Harmónicos de Tensão registado no Q.G.S.C (ESC – Geral)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	0,9	OK	-	h03 – 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	6,9	NOK	1,2	
		h07V1	2,7	OK	-	
	FASE 2	h03V2	1,8	OK	-	
		h05V2	6,3	NOK	1,1	
		h07V2	2,2	OK	-	
	FASE 3	h03V3	2,4	OK	-	
		h05V3	6,5	NOK	1,1	
		h07V3	2,3	OK	-	

Tabela 5.10 - Harmónicos de Corrente registado no Q.G.S.C (ESC – Geral)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	3,5	OK	-	4%
		h05I1	14,1	NOK	3,5	
		h07I1	4,2	NOK	1,1	
	FASE 2	h03I2	5,5	NOK	1,4	
		h05I2	13,3	NOK	3,3	
		h07I2	4,3	NOK	1,1	
	FASE 3	h03I3	0,3	OK	-	
		h05I3	12,8	NOK	3,2	
		h07I3	3,7	OK	-	

Verifica-se que o elevado número de equipamentos eletrónicos, seja desktops, iluminação, servidores, sistemas de AVAC, bem como motores de elevadores, com os constantes arranques a serem solicitados, provocam elevadas distorções nos harmónicos de tensão e de corrente.

Quanto aos harmónicos de tensão, o harmónico de 5ª ordem ultrapassa sempre o limite, apesar de ser aquém do limite técnico, ao passo que os harmónicos de corrente, fustigam mais a rede, com especial destaque também para o 5º harmónico, que contribui com valores superiores face ao limite imposto (4%), em cerca de 3 a 3,5 vezes

De facto, o 5º harmónico está bastante presente neste quadro elétrico, bem como os harmónicos de ordem 3 e 7, mas em menor percentagem.

A presença do 5º harmónico em especial, é resultado das cargas informáticas/comunicação (computadores, impressoras, fax, fotocopiadoras) presentes nos escritórios, bem como os equipamentos de conversão AC/DC e iluminação.

5.2.3. Q.G.S.C. (ESC – Elevadores) - Quadro Geral Serviços Comuns (Edifício – circuito elevadores)

Completando a análise do Q.G.S.C. do edifício, recolheu-se os dados para análise de energia, do circuito de elevadores, durante cerca de 48 horas, em dias de semana, registando um pico de potência na ordem de 1156 VA, ocorrido às 11h de um dia útil.

Analisando o gráfico de potências, tensões ou correntes, para este circuito facilmente se pode tirar conclusões do horário de funcionamento aplicado à maioria dos clientes empresariais do edifício.

Quanto à análise dos valores de tensão, nada de anormal a registar. Os valores de tensão variam num intervalo de 232 V a 221 V, nas três fases, para o intervalo de tempo medido.

Verifica-se também que não existe desequilíbrios de fases no circuito de elevadores, dado que o número dos mesmos e a sua configuração permanece idêntica desde os projetos de instalação na fase inicial de vida do edifício.

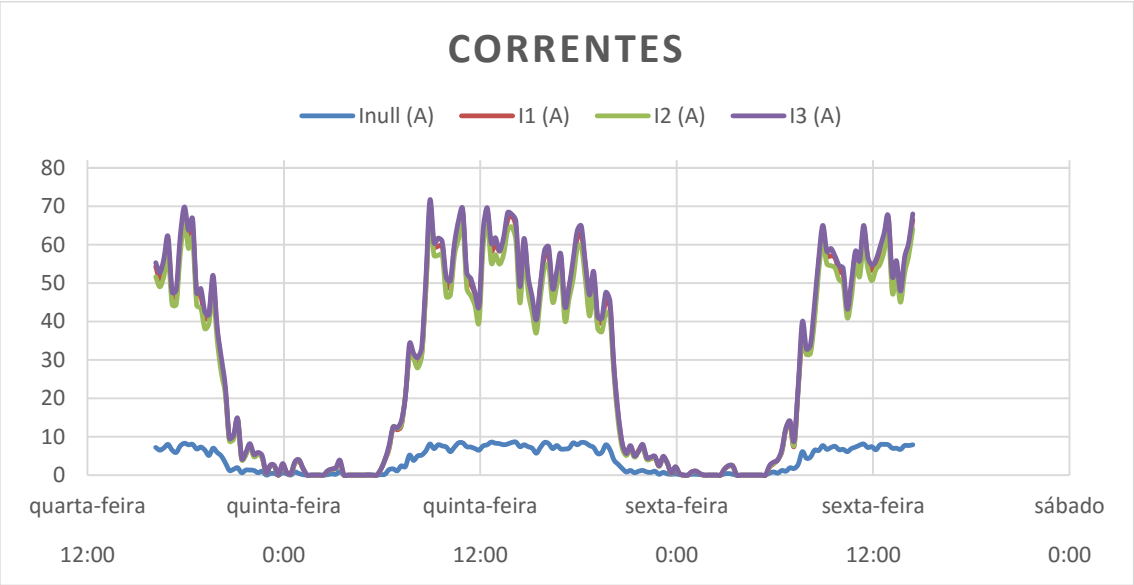

Figura 5.9 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C (ESC – Elevadores)

Analisando o gráfico das correntes medidas no circuito de elevadores do edifício, os valores registados na corrente de neutro, durante o intervalo das 09:00 até às 21:00, rondam a ordem dos 12% da corrente máxima observada (71,6 A, na fase 3).

De facto, as cargas instaladas no circuito dos elevadores, encontram-se praticamente equilibradas, no entanto, embora as correntes fundamentais se anulem, tal não acontece para as correntes harmónicas. De facto, aquelas que são múltiplas impares de três vezes a frequência fundamental (3º, 9º, 15º harmónicos) somam-se no neutro. É isto que verificamos, nos períodos de maior uso dos equipamentos de elevação.

Analisando agora as taxas de distorção harmónica, apenas nos valores de THDI, se apresentam estados inválidos (NOT OK), registando mesmo valores em 3,6 vezes superiores ao limite de 5% que é imposto. Estes valores, apenas se registam nos períodos de maior solicitação dos elevadores, como seria de esperar. Nas horas de vazio, não há limites violados.

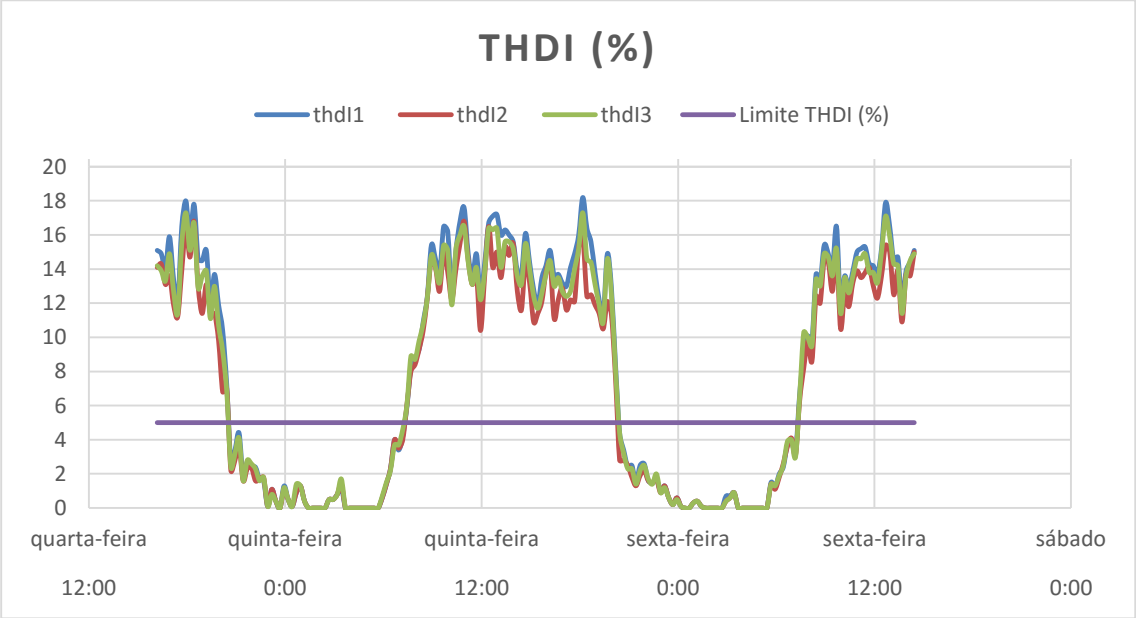

Figura 5.10 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C (ESC – Elevadores)

Os valores de THDV encontram-se nos limites válidos. A tabela seguinte, regista os valores máximos das taxas de distorção harmónicas, medidas no Q.G.S.C. do edifício, no circuito dos elevadores.

Tabela 5.11 - THDV e THDI registado no Q.G.S.C (ESC – Elevadores)

	Valor Máximo (%)		Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	2,5	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	2,7	OK	-	
	thdV3	2,9	OK	-	
THDI	thdI1	18,2	NOK	3,6	
	thdI2	16,8	NOK	3,4	
	thdI3	17,3	NOK	3,5	

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.12 – Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C (ESC – Elevadores)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	1,8	OK	-	h03 – 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	5,4	OK	-	
		h07V1	2,1	OK	-	
	FASE 2	h03V2	2,4	OK	-	
		h05V2	5,5,	OK	-	
		h07V2	2,2	OK	-	
	FASE 3	h03V3	1,1	OK	-	
		h05V3	5,7	OK	-	
		h07V3	2,5	OK	-	

Tabela 5.13 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C (ESC – Elevadores)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	0,1	OK	-	4%
		h05I1	10,8	NOK	2,7	
		h07I1	3,3	OK	-	
	FASE 2	h03I2	0,1	OK	-	
		h05I2	10,3	NOK	2,6	
		h07I2	3,4	OK	-	
	FASE 3	h03I3	0,3	OK	-	
		h05I3	10,8	NOK	2,7	
		h07I3	3,1	OK	-	

Independentemente dos dias em que foram registados os resultados, verifica-se que existe uma elevada distorção harmónica de corrente, 2,7 vezes superior ao limite aceite, atingindo esses valores sempre na mesma ordem de harmónico, 5ª ordem nas três fases.

Em comparação com os valores registados dos harmónicos de corrente e THDI no circuito geral do mesmo quadro elétrico, conclui-se que os equipamentos de elevação ligados ao circuito são dos principais contribuidores para a poluição harmónica de corrente na instalação.

Além disso, a presença de harmónicos no fluxo magnético das maquinas rotativas produzem alterações no acionamento, com componentes de binário que atuam no sentido oposto ao do harmónico fundamental, como ocorre com o 5º harmónico registado, dado este ser um harmónico de sequência negativa.

5.2.4. Q.E.A.C. (CC) - Quadro Elétrico Ar Condicionado Galeria Comercial

Outro dos equipamentos muito utilizados em redes elétricas de BT na área dos serviços é o aparelho de ar condicionado.

A análise dos dados recolhidos no quadro elétrico de AVAC, localizado na cobertura da Galeria Comercial, comparada com as analises já descritas, será relativamente mais fácil.

O normal funcionamento do sistema de AVAC é constante ao longo do tempo, durante os períodos de funcionamento, tipicamente entre as 08:00h e as 22:00h. Nas restantes horas do dia, não se justifica permanecer ligado dado que não existe tanta necessidade de ventilar os locais públicos, tais como lojas comerciais, casas de banho e corredores da Galeria Comercial.

Neste quadro existe a alimentação de diversas unidades de tratamento de ar (UTA's) e de ventiladores de insuflação (VI) e ventiladores de extração (VE).

A potência máxima registada é de 87,85 kVA, sensivelmente às 08:00h, coincidindo com o arranque das operações diárias de ventilação dos espaços. A nível de tensões, variam entre os 240 V e os 223 V, não representando nenhum desequilíbrio de tensão, que mereça especial atenção.

A distribuição das cargas é relativamente equilibrada e os valores da corrente de neutro reduzidos (sensivelmente 6 A). Ainda assim, no momento de arranque de funcionamento dos equipamentos alimentados por este Q.E., a corrente de neutro atinge com facilidade valores a rondar os 16 A, devido ao binário de arranque dos mesmos. O que se traduz em cerca de 13 % dos valores de correntes máximas.

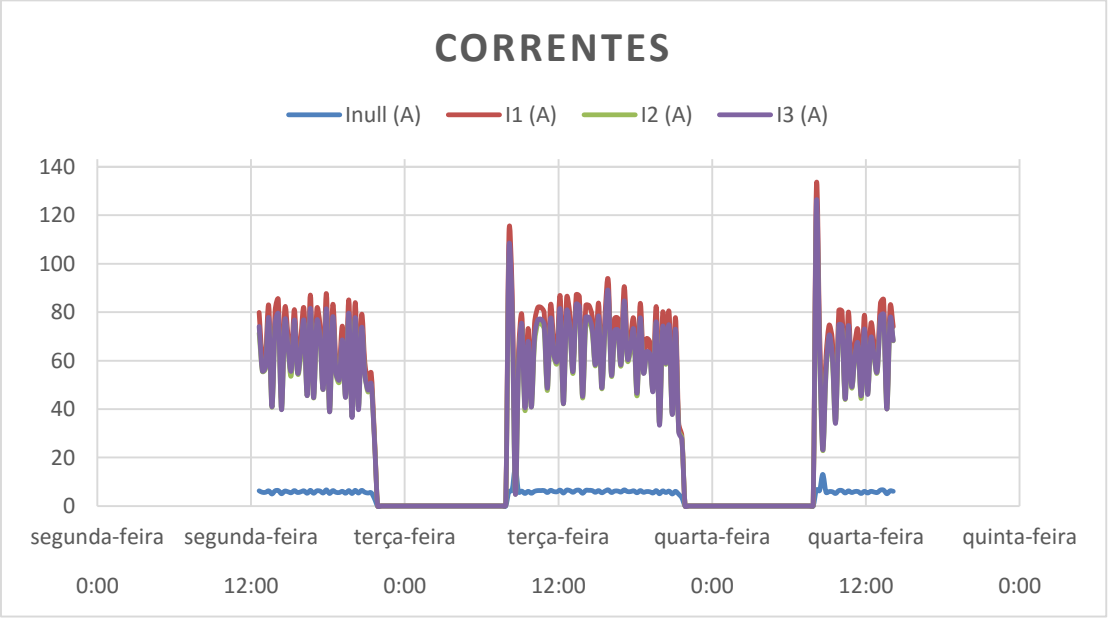

Figura 5.11 - Gráfico de Correntes medidas no Q.E.A.C (CC)

Em termos de taxa de distorção harmónica registou-se valores muito abaixo dos limites estabelecidos. Há, portanto, bastante margem até se atingir o valor máximo admissível de 5%. Observando o gráfico da THDV, verifica-se que este se mantém equilibrado ao longo do tempo. Quanto aos dados da THDI, apresenta apenas alguns picos, correspondentes aos picos de consumo, observado no gráfico de correntes.

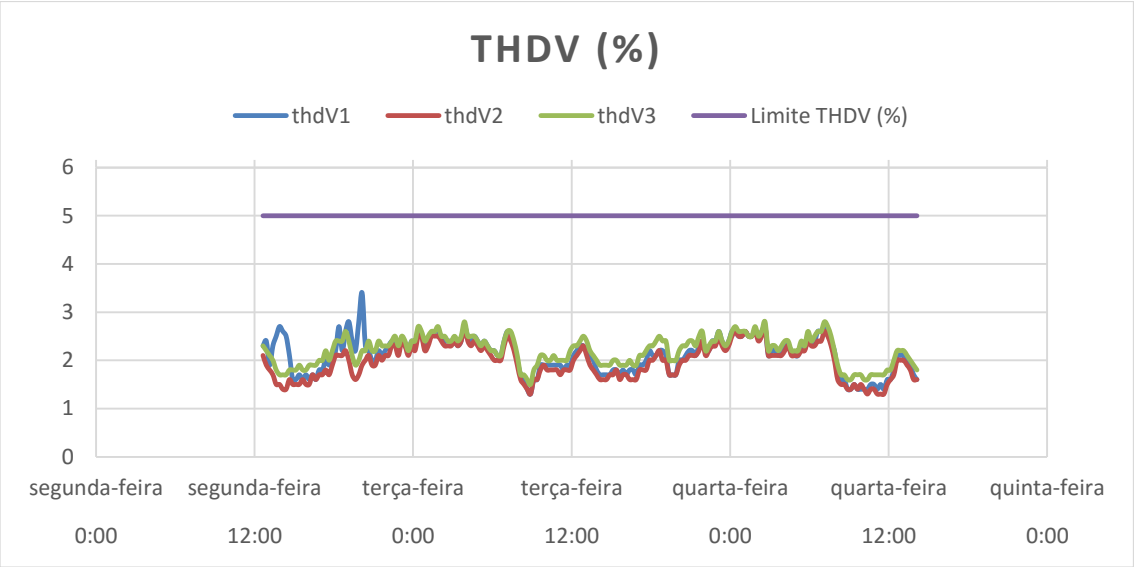

Figura 5.12 - Gráfico de THDV medida no Q.E.A.C. (CC)

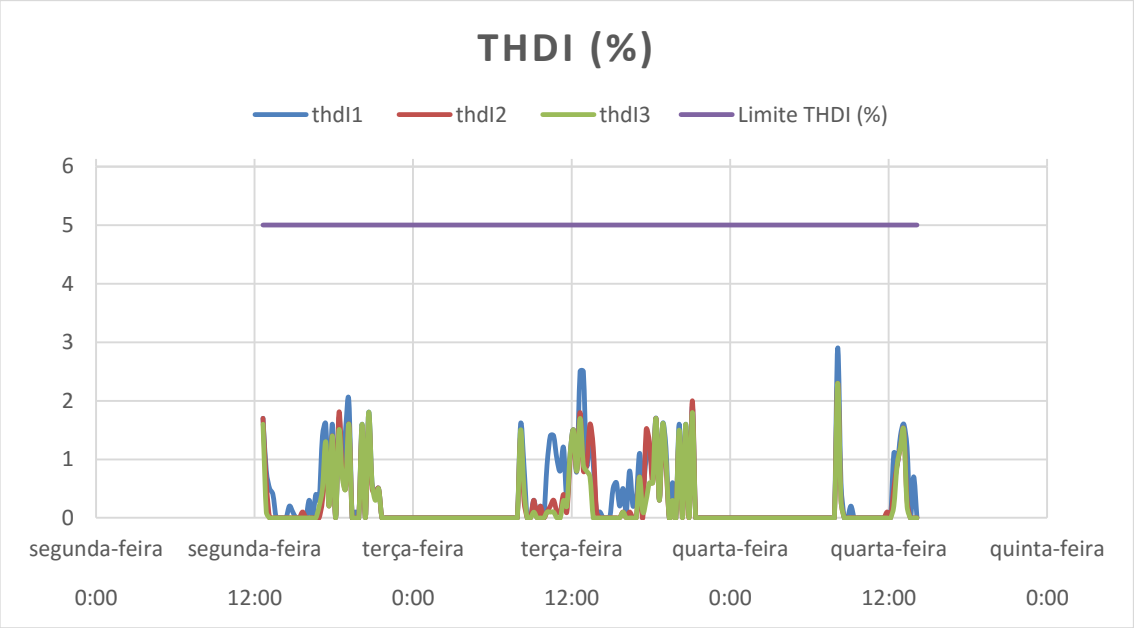

Figura 5.13 - Gráfico de THDI medida no Q.E.A.C. (CC)

Tabela 5.14 - THDV e THDI registado no Q.E.A.C.

	Valor Máximo (%)		Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	3,4	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	2,7	OK	-	
	thdV3	2,8	OK	-	
THDI	thdI1	2,9	OK	-	
	thdI2	2,3	OK	-	
	thdI3	2,3	OK	-	

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.15 – Harmónicos de Tensão registados no Q.E.A.C. (CC)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	4,7	OK	-	h03 – 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	5,8	OK	-	
		h07V1	3,0	OK	-	
	FASE 2	h03V2	2,1	OK	-	
		h05V2	5,8	OK	-	
		h07V2	2,8	OK	-	
	FASE 3	h03V3	2,3	OK	-	
		h05V3	5,9	OK	-	
		h07V3	3,1	OK	-	

Tabela 5.16 - Harmónicos de Corrente registados no Q.E.A.C. (CC)

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	0,0	OK	-	4%
		h05I1	3,6	OK	-	
		h07I1	2,0	OK	-	
	FASE 2	h03I2	0,0	OK	-	
		h05I2	2,7	OK	-	
		h07I2	1,3	OK	-	
	FASE 3	h03I3	0,0	OK	-	
		h05I3	2,6	OK	-	
		h07I3	2,1	OK	-	

Verifica-se que os valores registados, estão dentro dos limites técnicos. Salienta-se o facto de que os harmónicos de corrente, nomeadamente os valores máximos dos harmónicos de ordem 3, serem valor nulo.

Da análise feita ao quadro elétrico de AVAC, podemos excluir a hipótese de contribuir para distorção harmónica da instalação, devido ao seu comportamento linear durante o seu normal período de funcionamento.

5.2.5. Q.G.G.-1 - Quadro Geral Garagem Piso -1

Localizado no parque de estacionamento, piso -1, encontra-se instalado o Q.G.G.-1, responsável pela alimentação dos quadros elétricos de ventilação do piso -1 (QEV -1.1 e QEV -1.2), bem como os quadros gerais para cada piso inferior (piso -2, piso -3, piso -4), que por sua vez também alimentam os respetivos Q.E. de ventilação.

Além dos ventiladores de pressurização e ventiladores de extração, o Q.G.G-1 é responsável pela alimentação de toda a iluminação LED do parque e iluminação de zonas técnicas da galeria comercial.

Durante o período de recolha de dados no parque de estacionamento, obteu-se uma potência máxima de 34,3 kVA, variando ao longo do dia, consoante o comportamento dos consumos registados.

Pode-se verificar, que existe grande desequilibrio de cargas, acentuando-se em periodos de vazio, especificamente entre 01:00h e as 07:00h, correspondendo ao encerramento/estado off de alguns equipamentos, nomeadamente ventiladores de extração que não estão a ser utilizados e iluminação que não é necessária.

No entanto, seria de esperar menores consumos face aos registados, para o mesmo periodo de vazio, não fossem ainda encontrados alguns equipamentos que permanecem ligados 24h por dia. São exemplo, cerca de 1/3 da iluminação do parque, nos pisos -1 e -2 e uma máquina de vending (localizada no piso -1) , porque esta contém um sistema de refrigeração.

Regista-se também a elevada corrente de neutro, que no mesmo período de vazio, chega a ultrapassar valores idênticos aos de corrente de fase, consequência de distorção harmónica de corrente e um mau equilibrio de cargas.

A corrente de neutro atinge valores máximos, na ordem dos 20 A, o que corresponde neste caso a cerca de quase metade do valor medido nas correntes máximas das fases. Algo que deverá ser corrigido, com a introdução de filtros de harmónicos e uma possivel melhor distribuição de cargas.

Também o tipo de cargas que este Q.E. alimenta são susciptiveis de originar distorção harmónica, como é o caso de conversores AC/DC, que se encontram em funcionamento no horário normal do parque de estacionamento. Havendo por isso maiores consumos, que por sua vez se traduzem em desequilibrio de correntes (dado o sistema se encontrar desequilibrado) e um aumento da corrente no condutor neutro.

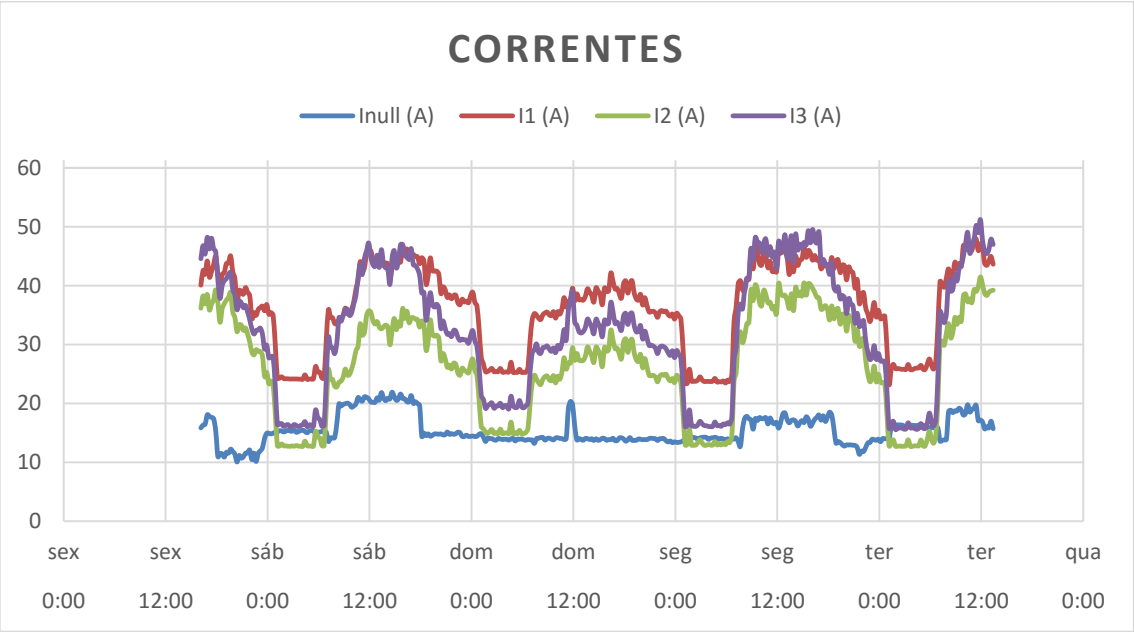

Figura 5.14 – Gráfico de Correntes medidas no Q.G.G.-1

Como esperado, a instalação no local parque de estacionamento, apresenta severas distorções harmónicas de corrente, ultrapassando os limites aceites em 6 vezes mais.

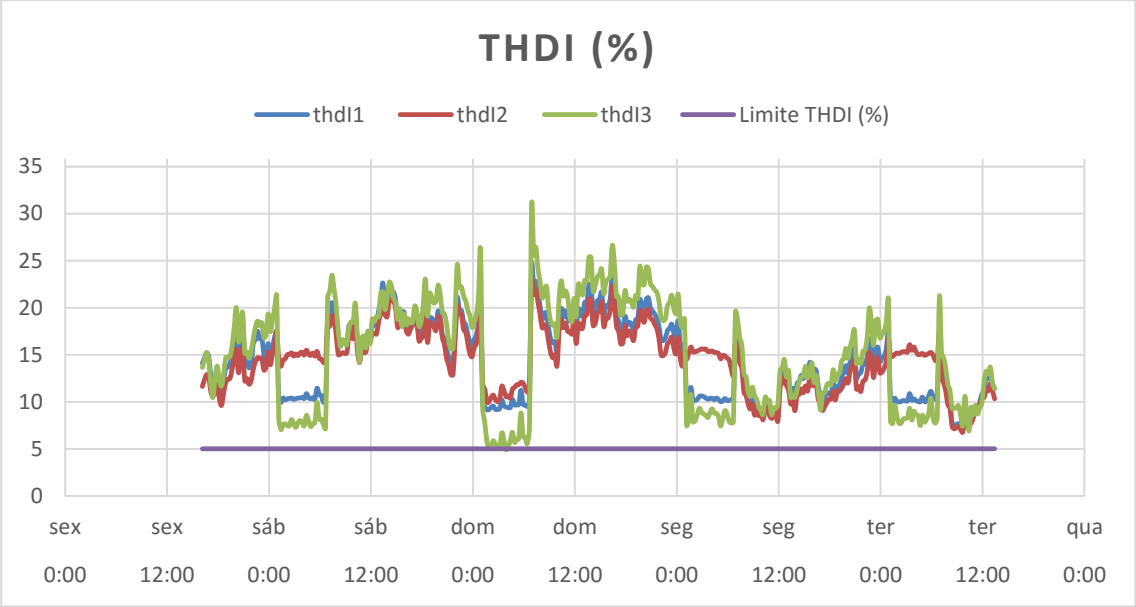

Figura 5.15 - Gráfico de THDI medida no Q.G.G.-1

A THDV não apresenta valores de maior preocupação, dado não se ultrapassar o limite de 5%

Tabela 5.17 - THDV e THDI registados no Q.G.G.-1

	Valor Máximo (%)		Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	3,1	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	3,0	OK	-	
	thdV3	2,9	OK	-	
THDI	thdI1	24,6	NOK	4,9	
	thdI2	23,1	NOK	4,6	
	thdI3	30,7	NOK	6,1	

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.18 – Harmónicos de Tensão registados no Q.G.G.-1

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	0,87	OK	-	h03 – 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	6,00	NOK	1,0	
		h07V1	3,27	OK	-	
	FASE 2	h03V2	1,69	OK	-	
		h05V2	6,06	NOK	1,01	
		h07V2	2,89	OK	-	
	FASE 3	h03V3	1,79	OK	-	
		h05V3	5,61	OK	-	
		h07V3	3,26	OK	-	

Tabela 5.19 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.G.-1

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	1,7	OK	-	4%
		h05I1	9,5	NOK	2,4	
		h07I1	1,6	OK	-	
	FASE 2	h03I2	1,6	OK	-	
		h05I2	7,0	NOK	1,8	
		h07I2	1,6	OK	-	
	FASE 3	h03I3	2,9	OK	-	
		h05I3	9,1	NOK	2,3	
		h07I3	1,6	OK	-	

Observa-se que o harmónico de 5ª ordem, de tensão e corrente é maior que o limite definido nos critérios de análise dos mesmos, contribuindo assim para a poluição harmónica do Quadro Elétrico.

5.2.6. Q.G.S.C.-1 - Quadro Geral Serviços Comuns Piso -1

O último quadro elétrico a ser analisado é o Quadro Geral Serviços Comuns Piso -1 (Q.G.S.C.-1), adjacente ao Q.G.G.-1.

O Q.G.S.C.-1 é responsável pelas ligações elétricas aos quadros de bombagem, nomeadamente as bombas de incêndio, as bombas das águas pluviais, as bombas das águas residuais e também as bombas das águas de alimentação ou consumo. Os quadros de bombagem encontram-se todos eles, localizados no piso -4.

O Q.G.S.C.-1 é também responsável por alimentar o quadro de iluminação exterior (iluminação fachadas do edifício e da galeria comercial), alimentação da caixa de pagamentos do parque de estacionamento, bem como a iluminação dos letreiros de saída e ainda a central de segurança, que está em funcionamento 24 horas por dia.

Durante o período de medições elétricas ao Q.G.S.C.-1 registou-se um valor máximo de potência de 6978 VA, por volta das 03:00h. Quanto às tensões não se verificou nenhuma anomalia, como se observa no gráfico das tensões.

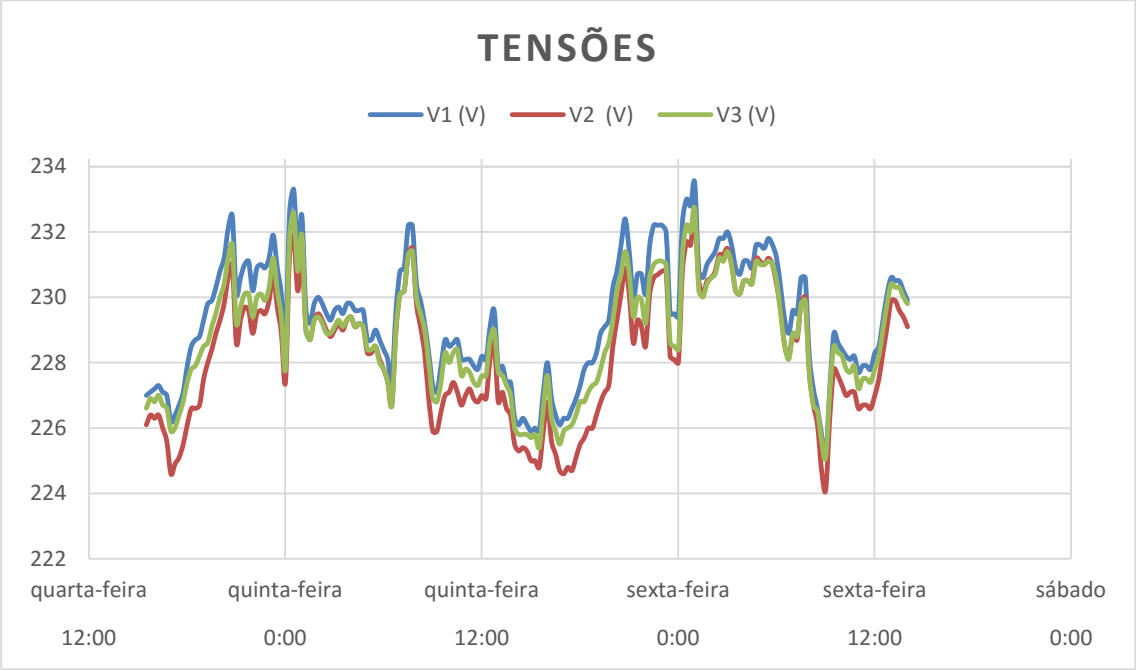

Figura 5.16 - Gráfico de Tensões medidas no Q.G.S.C.-1

Quanto às correntes é possível comprovar um grande desequilíbrio de fases.

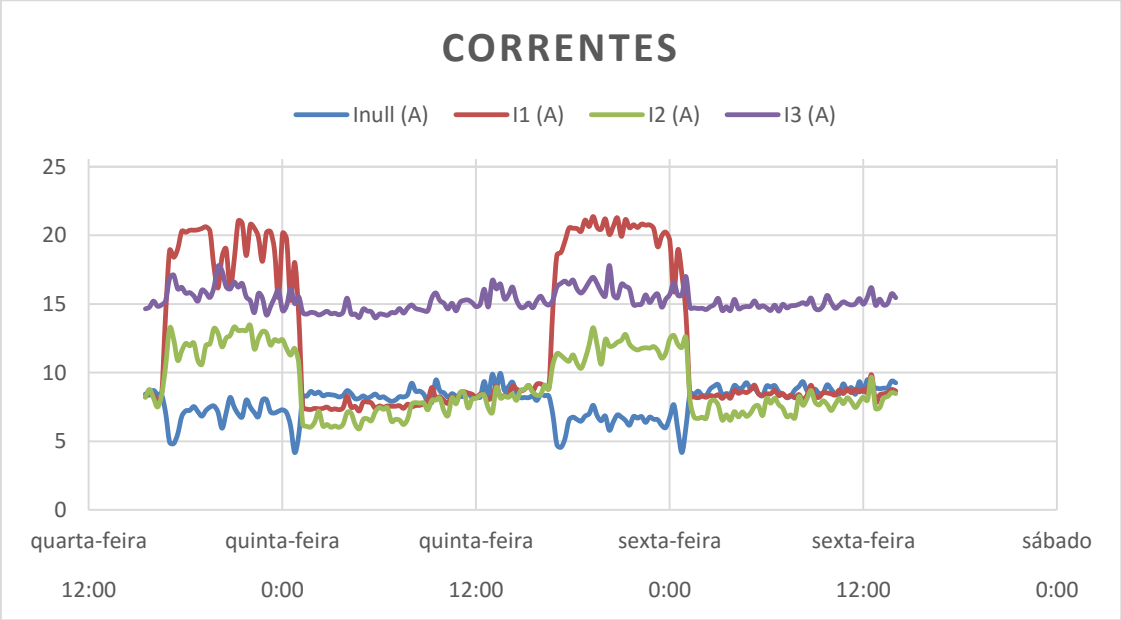

Figura 5.17 - Gráfico de Correntes medidas no Q.G.S.C.-1

De notar, também um elevado valor de corrente de neutro face aos valores de corrente das outras fases. Verifica-se que em certos períodos do dia, a corrente no neutro é até, superior às correntes de fase 1 e 2. Este aumento de corrente de neutro, justifica-se pelo maior desequilíbrio de fases, que ocorre nesse período, além da presença dos harmónicos, nomeadamente de 3ª ordem, que será mais tarde comprovada.

Outro aspeto importante a observar, é a baixa variação do valor eficaz de corrente, registada na fase 3, ao contrário das restantes fases. O que significa que a carga alimentada pela fase 3, se encontra em permanente funcionamento, como é o caso da central de segurança, caixa de pagamentos do parque de estacionamento e iluminação das saídas de emergência. As restantes fases (1 e 2) alimentam os quadros de bombagem e iluminação exterior (fachada do edifício e galeria comercial), que apresentam maiores picos de corrente, em períodos de fim do dia, nomeadamente entre as 17:00 h e as 01:00 h.

Quanto à taxa harmónica de distorção, a THDV apresenta um comportamento semelhante às variações de tensão, não se observando nenhum valor máximo a ultrapassar o limite de 5% conforme ditam os critérios estabelecidos.

O comportamento da THDI é bastante diferente. Registam-se diversas variações em resultado do comportamento variável das correntes nas três fases. Claramente, se conclui, que o limite de 5% é ultrapassado, com ligeiras exceções nos períodos entre 14:00h e as 00:00h, nas fases 2 e 3. Também se verifica que a fase 1, é a maior contribuidora para as elevadas taxas de distorção harmónica de corrente, atingindo valores na ordem dos 29 %, cerca de 5,7 vezes superior ao limite de 5%.

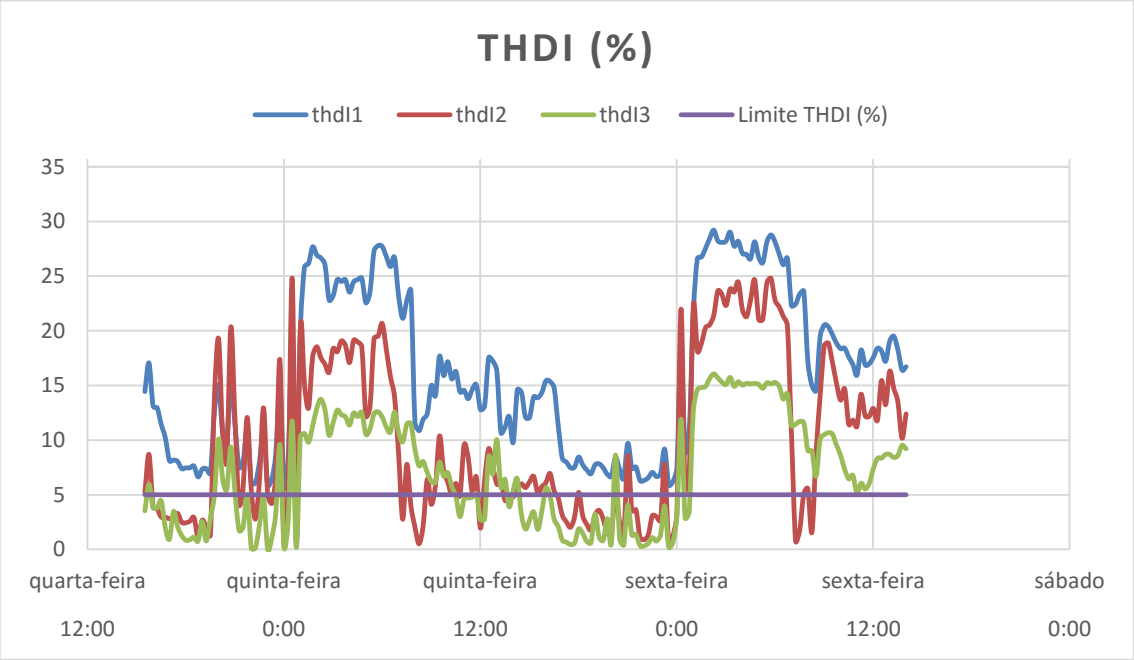

Figura 5.18 - Gráfico de THDI medida no Q.G.S.C.-1

Tabela 5.20 - THDV e THDI registados no Q.G.S.C.-1

	Valor Máximo (%)		Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
THDV	thdV1	2,67	OK	-	THDV - 5% THDI - 5%
	thdV2	2,63	OK	-	
	thdV3	2,51	OK	-	
THDI	thdI1	29,22	NOK	5,8	
	thdI2	24,79	NOK	5,0	
	thdI3	16,06	NOK	3,2	

Quanto aos harmónicos individuais:

Apenas os harmónicos individuais de corrente, violam os limites recomendados no standard IEEE 519. Como se observa na tabela 5.22, a maioria da presença harmónica, deve-se aos harmónicos de ordem 3 e 7, registando valores máximos de 3,6 vezes superiores ao limite de 4%.

Tabela 5.21 - Harmónicos de Tensão registados no Q.G.S.C.-1

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	NP-EN 50160
HARMÓNICOS TENSÃO	FASE 1	h03V1	0,84	OK	-	h03 - 5% h05 - 6 % h07 - 5%
		h05V1	4,95	OK	-	
		h07V1	2,88	OK	-	
	FASE 2	h03V2	1,61	OK	-	
		h05V2	5,01	OK	-	
		h07V2	2,58	OK	-	
	FASE 3	h03V3	1,81	OK	-	
		h05V3	4,70	OK	-	
		h07V3	2,98	OK	-	

Tabela 5.22 - Harmónicos de Corrente registados no Q.G.S.C.-1

			Valor Máximo (%)	Estado	Relação	IEEE-std- 519-2002
HARMÓNICOS CORRENTE	FASE 1	h03I1	12,48	NOK	3,1	4%
		h05I1	7,66	NOK	1,9	
		h07I1	13,96	NOK	3,5	
	FASE 2	h03I2	4,55	NOK	1,1	
		h05I2	2,96	OK	-	
		h07I2	7,58	NOK	1,9	
	FASE 3	h03I3	5,01	NOK	1,3	
		h05I3	3,6	OK	-	
		h07I3	14,57	NOK	3,6	

5.3. Análise das faturas de energia

Qualquer cliente de uma empresa fornecedora de energia elétrica, quer seja uma grande indústria, um pequeno comércio (loja de bairro, restaurante, cabeleireiro, bar, etc…) ou um apartamento, sofre significativas penalizações na sua fatura de energia derivado do consumo de energia reativa.

O trânsito de potência reativa é inconveniente, porque eleva a intensidade de corrente nos elementos do sistema elétrico, resultando numa redução da capacidade útil do mesmo e em perdas adicionais de potência ativa. Os custos incorridos com a disponibilização de potência reativa têm de ser recuperados através da tarifa [25].

Nos contratos de MT (média tensão) e BTE (baixa tensão especial) o montante referente ao consumo de energia reativa aparece discriminado na fatura de energia.

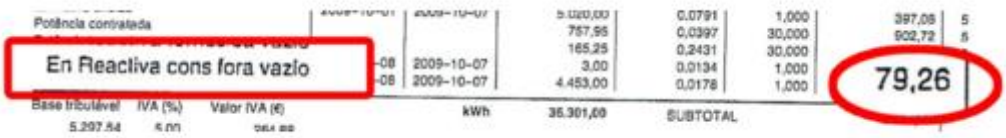

Figura 5.19 - Exemplo de fatura de energia (consumo de energia reativa)

Nos contratos de BT (baixa tensão) apesar do valor não aparecer discriminado, cerca de 30% do total da fatura é proveniente das penalizações do consumo de energia reativa.

Este consumo é justificado pela grande maioria dos equipamentos com motores elétricos, que necessitam de um campo eletromagnético que é gerado pela energia reativa para o seu funcionamento.

No caso concreto das instalações do cliente, o consumo de energia reativa é proveniente do uso doméstico e comercial tal como:

- Iluminação;
- Ar condicionado;
- Redes de Computadores;
- Equipamentos de elevação;
- Equipamentos de cozinha;

Analisando as faturas de energia do cliente, nos últimos 3 meses até Setembro, conclui-se que nos meses de Junho e Julho houve uma elevada penalização no pagamento de energia reativa indutiva (escalão máximo), devido ao excesso de consumo de energia reativa com valores de Fator de Potência bastante abaixo do que os regulamentos permitem (inferior a 0,89).

Em consequência disso, o cliente foi penalizado em 1 146,80 €, nos meses em que ocorreu essa violação dos limites impostos pelo Despacho 7253/2010.

Além do excesso de energia reativa indutiva com tg $\varphi > 0,5$, o cliente também foi penalizado nos restantes escalões. No entanto, não se verificou uma penalização tão elevada. Os valores a pagar rondam na ordem dos 15 € e 46 € por mês, para cada um dos escalões de tg φ entre 0,3 e 0,4, e tg φ entre 0,4 e 0,5, respetivamente.

Quanto à energia reativa capacitiva, verificou-se um valor médio mensal a pagar cerca de 50 €.

Em resumo, a fatura de energia reativa resultante desses três meses em análise, resultou num valor a pagar de 1 435,22 €.

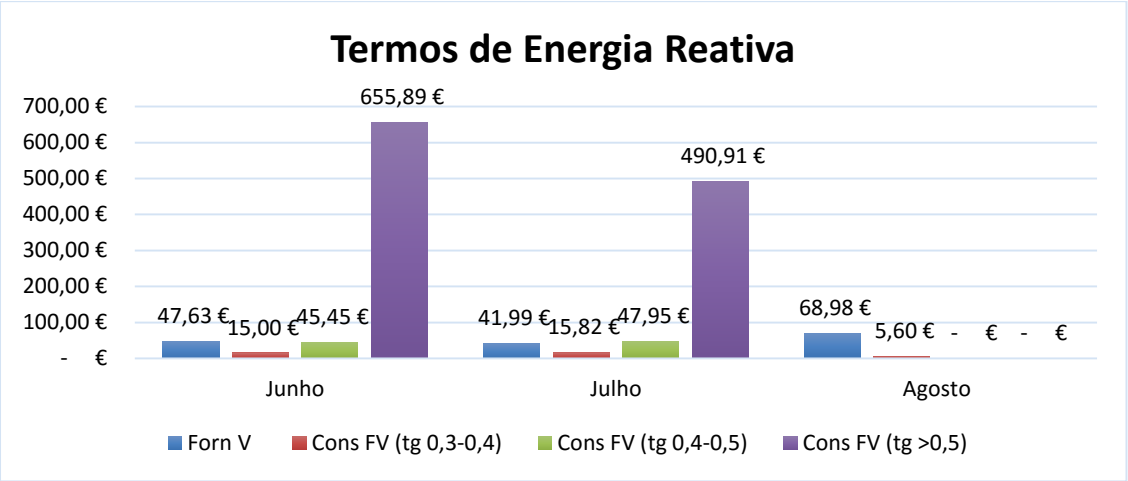

Figura 5.20 – Gráfico dos termos de energia reativa (recolhidos das faturas de energia)

Tabela 5.23 – Preços dos termos de energia reativa Capacitiva e Indutiva

Preços dos termos de energia reativa		
Capacitivo		0,0239 €/kVArh
Indutivo	tg φ 0,3-0,4	0,010329 €/kVArh
	tg φ 0,4-0,5	0,0313 €/kVArh
	tg φ > 0,5	0,0939 €/kVArh

O grande impacto que a energia reativa indutiva teve na fatura de energia pode ser explicado pela ausência de uma bateria de condensadores, presente no edifício de escritórios, devido a um recente incêndio do equipamento. Como se pode observar, no mês de Agosto, não foi faturado energia reativa indutiva com tg φ > 0,5, dado que foi instalada no mesmo local uma nova bateria de condensadores para fazer face ao último incidente.

Quanto aos outros valores a pagar pelo elevado consumo de energia reativa indutiva, ou pelo fornecimento indevido de energia reativa capacitiva fora de horas previstas, pode ser corrigido com a instalação de um relógio e um contator à entrada de cada bateria de condensadores.

A instalação deste tipo de equipamentos otimiza o fator de potência na maioria dos casos entre 0,96 e 0,98, o que leva a uma redução do consumo de energia e consequentes penalizações na fatura energética.

Espera-se assim, evitar custos de energia reativa na fatura elétrica e maximizar a utilização da potência instalada.

5.4. Correção do Fator de Potência

Em resultado da análise das faturas de energia, decidiu-se fazer um estudo da correção do fator de potência de modo a evitar penalizações monetárias pelo excesso de consumo ou fornecimento de energia reativa à rede elétrica, quando este se encontrava abaixo de determinados valores de cos φ.

Antes de se iniciar o estudo de compensação do fator de potência, foram recolhidos diversos dados acerca das baterias de condensadores instaladas no local. A tabela 5.24 apresenta as potências de cada condensador, os seus níveis de tensão e ainda a potência instalada por bateria.

Considerou-se fundamental o valor mínimo registado do fator de potência (em períodos de consumo), de modo a determinar o valor máximo de energia reativa a compensar em cada quadro elétrico.

Tabela 5.24 - Informação técnica e distribuição das baterias de condensadores existentes nas instalações do cliente

Zona	Potência (kVAr)	Tensão (V)	Nº Condensadores	Potência instalada/Bateria
Piso 0 CC (compensação no QGG-1)	20	440	4	95
	10	440	1	
	5	440	1	
Piso 0 Edifício (compensação no QGSC ESC)	25	440	4	100
Piso -1 (Compensação no QGSC-1)	5	400	1	25
	10	400	2	

Com base nesta tabela, sabe-se que existem três baterias de condensadores instaladas, a compensar o consumo de energia reativa na zona do parque de estacionamento (Q.G.S.C.-1 e Q.G.G.-1), bem como o edifício de escritórios (Q.G.S.C. ESC). A galeria comercial, não apresenta nenhum meio de compensação de energia reativa.

Para o estudo de correção do fator de potência, definiu-se o valor do fator de potência desejado (cos φ2) em 0,97, de modo a inserir-se no 1º escalão de faturação de energia reativa, beneficiando assim o cliente na poupança de 2/3 do valor a pagar pelos consumos de energia reativa indutiva, de acordo com a nova legislação em vigor.

A tabela seguinte, apresentam os valores de fator de potência mínimos registados (cos φ1), e os valores desejados a atingir (cos φ2), bem como os valores máximos das potências ativas (P_{max}) registadas durante os períodos de análise, e, por conseguinte, a potência reativa final a compensar (Q).

Tabela 5.25 – Compensação de Energia Reativa com base na correção do fator de potência

Quadros Elétricos	cos φ1(◦)	tan φ1(◦)	cos φ2(◦)	tan φ2(◦)	Pmax (kW)	Q (kVar)	Qinstalada (kVar)
Q.G.S.C (ESC. - Geral)	0,07	15,35	0,97	0,25	5,743	86,73	100
Q.G.S.C.(ESC. - Elevadores)	0,17	5,73	0,97	0,25	0,0758	0,42	
Q.G.G.-1	0,19	5,22	0,97	0,25	15,78	78,48	95
Q.G.S.C.-1	0,08	12,01	0,97	0,25	1,68	19,75	25

Optou-se por esta estratégia de correção do FP, de modo a averiguar se as baterias instaladas seriam suficientes ou não, para as atuais necessidades de compensação das instalações.

O cálculo da potência reativa a compensar regeu-se pela conjunto seguinte de fórmulas expostas no Manual Técnico da empresa CYDESA [26].

- $Q[kVar] = P[kW] \times f$ (5.4)

- $f = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$ (5.5)

Analisando a tabela 5.25, verifica-se que a potência instalada de baterias de condensadores é suficiente para as necessidades de compensação das instalações, dado não se registar nenhum valor de potência reativa calculada (Q) , superior aos valores de $Q_{instalada}$.

De notar, que o estudo da correção do fator de potência, não envolve os quadros elétricos Q.G.S.C. (CC) e Q.E.A.C.(CC). Isto porque, no Q.G.S.C. (CC) apenas se registou valores de fator de potência capacitivo (figura 5.21).

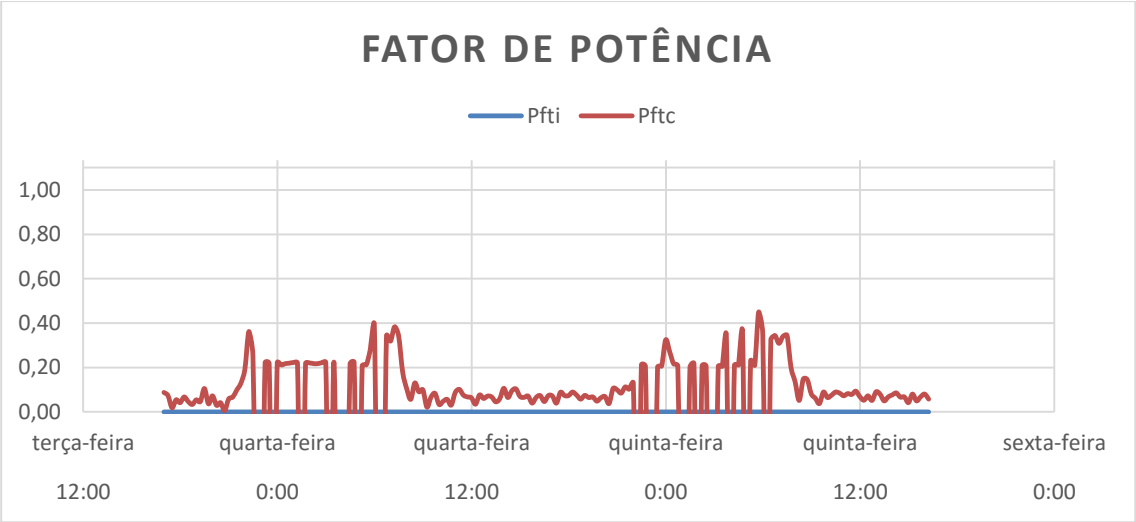

Figura 5.21 – Fator de Potência registado no Q.G.S.C. (CC)

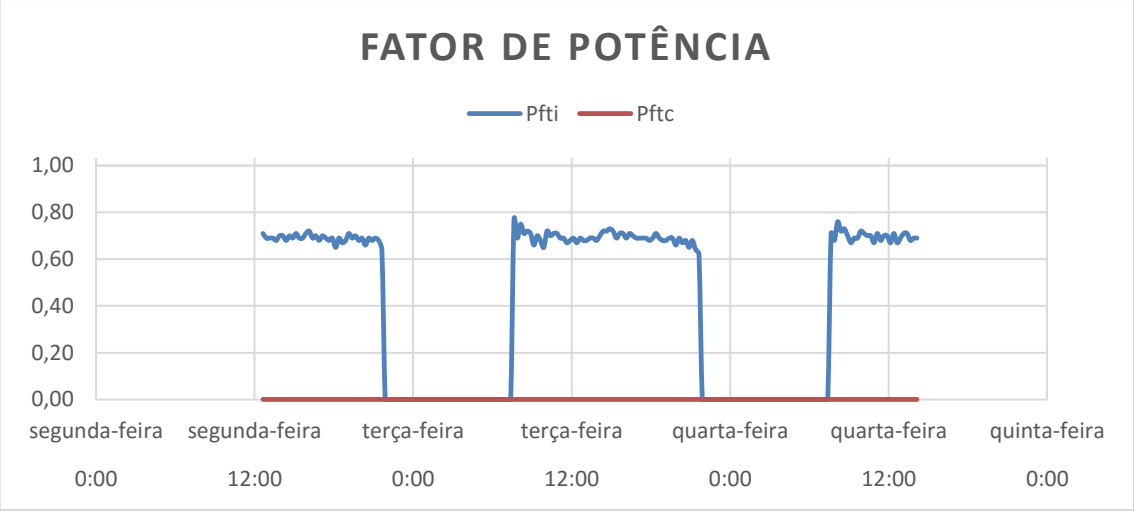

Figura 5.22 – Fator de Potência registado no Q.E.A.C. (CC)

A presença da componente capacitiva do fator de potência do Quadro Geral da Galeria, dever-se-á aos motores síncronos instalados nas zonas comerciais bem como o possível mau funcionamento de algumas baterias de condensadores existentes.

Relembra-se que a faturação da energia reativa capacitiva, não sofre qualquer penalização sob a forma de um fator multiplicativo, ao contrário da faturação da energia reativa indutiva. A única medida capaz de diminuir os valores tarifados ao fim do mês, seria desligar alguns equipamentos, de modo a não injetar energia reativa capacitiva na rede elétrica, em horas de vazio.

5.5. Dimensionamento de filtros

Concluído o estudo dos resultados obtidos, verifica-se que nas instalações do cliente, existem diversas ordens de harmónicos, em que as cargas instaladas variam consoante a sua atividade e por sua vez, o comportamento da componente harmónica das instalações também varia em função dessa atividade (comércio e serviços).

Considerando estes aspetos e também a sensibilidade dos equipamentos existentes na instalação e de modo a evitar-se fenómenos de ressonância, optou-se por efetuar a mitigação harmónica através do dimensionamento de filtros ativos.

O dimensionamento foi efetuado para todos os quadros analisados, com exceção do quadro Q.E.A.C. (instalado na cobertura da galeria comercial), uma vez que, apresenta valores máximos da THDI inferiores relativamente aos limites técnicos definidos pelo IEEE standard 519.

A THDI máxima registada no Q.E.A.C. (CC) ronda os 3% e o limite máximo definido pelo standard é 5%. Logo, não há necessidade de se dimensionar filtros de harmónicos para este quadro elétrico.

Para os restantes Q.E., o dimensionamento dos filtros harmónicos será efetuado com base em dois métodos:

- Valores de corrente instalada nos quadros elétricos;
- Valores de corrente medidos na análise efetuada aos quadros elétricos.

Estas duas metodologias apresentadas são efetuadas, pois após a instalação de um filtro, poder-se-á continuar a analisar a instalação e caso surja a necessidade de aumentar a capacidade do filtro, existe sempre a possibilidade de instalação de mais filtros, sendo que os custos serão repartidos e inferiores.

A análise do tipo de equipamento a instalar e o seu custo é efetuada tendo em conta as características técnicas de 2 fornecedores, denominados de fornecedor A e fornecedor B, e os valores considerados de investimento são valores de tabela.

5.5.1. Dimensionamento técnico

O dimensionamento é realizado com base nos seguintes parâmetros:

- I - Corrente total (instalada ou medida) (A);
- I_1 – Corrente fundamental (A);
- I_D – Corrente harmónica a compensar (A);
- THDi = $THDi_1$ – Taxa de distorção harmónica de corrente medida (%);
- $THDi_2$ – Taxa de distorção harmónica a alcançar (%);

Para determinar a capacidade do filtro ativo vai-se proceder da seguinte forma:

1) Começa-se por calcular a corrente fundamental:

- $I_1 = \frac{I}{1+(THDi)^2}$ (5.6)

2) De seguida, calcula-se a corrente harmónica a compensar pelo filtro:

- $I_D = I_1(\mathrm{THDi1} - \mathrm{THDi2})$ (5.7)

O valor $THDi_2$ será definido como 5%. Valor limite calculado com base nos regulamentos do IEEE-std- 519-2002.

Da análise das tabelas 5.26 e 5.27, conclui-se que existe um sobredimensionamento dos equipamentos instalados nos quadros elétricos analisados. Exemplo disso, é a diferença dos valores de corrente instalados e medidos, nomeadamente no Q.G.S.C. (CC), com valores de 1000 A e 349 A, respetivamente. De igual modo, para o mesmo quadro elétrico, existe uma grande diferença nos valores de corrente a compensar, nomeadamente de 171 A e 60 A, sensivelmente.

Em consequência disso, a escolha dos filtros, também será influenciada, devido à restrição de gamas de valores de corrente, que os fornecedores apresentam como soluções a compensar.

Um outro exemplo, para o Q.G.S.C (ESC. - Circuito Geral), é possível dimensionar os filtros para compensar a corrente, entre 90 A e 30 A, em ambos os fornecedores, caso se dê maior importância à corrente instalada ou a corrente medida.

Conclui-se assim, que um possível dimensionamento de filtros ativos de harmónicos, terá em maior consideração os valores de corrente medidos ao contrário dos valores de corrente

que se encontram instalados, permitindo uma previsível redução de custos, e um ajuste da capacidade de compensação face ao equipamento instalado no local.

A análise mais sensata e previsivelmente económica, será aquela que apresenta menores valores de corrente a compensar.

Tabela 5.26 – Valores de corrente instalada nos quadros elétricos

						Filtro a escolher (A)	
Quadro Elétrico	I(A)	THDI	THDI2	I1 (A)	ID (A)	Fornecedor A	Fornecedor B
Q.G.S.C. (CC)	1000	0,23	0,05	950	171	180	180
Q.G.S.C. (ESC. - Geral)	1000	0,12	0,05	987	64	90	90
Q.G.S.C. (ESC. - Elevadores)	250	0,18	0,05	242	32	90	45
Q.G.G.-1	250	0,31	0,05	228	59	90	60
Q.G.S.C.-1	250	0,29	0,05	230	56	90	60

Tabela 5.27 - Valores de corrente medidos na análise efetuada aos quadros elétricos

						Filtro a escolher (A)	
Quadro Elétrico	I(A)	THDI	THDI2	I1 (A)	ID (A)	Fornecedor A	Fornecedor B
Q.G.S.C. (CC)	349	0,23	0,05	331	60	90	60
Q.G.S.C. (ESC. - Geral)	421	0,12	0,05	416	27	30	30
Q.G.S.C. (ESC. - Elevadores)	208	0,18	0,05	201	27	30	30
Q.G.G.-1	141	0,31	0,05	128	33	90	45
Q.G.S.C.-1	53	0,29	0,05	48	12	30	30

Verifica-se que nesta última tabela, a corrente a compensar para o Q.G.S.C. (ESC. - Elevadores) é a mesma que para o Q.G.S.C. (ESC. - Geral), (ID = 27 A). Significa isto, que não será necessário instalar dois filtros em circuitos diferentes. Os distúrbios harmónicos registados no Q.G.S.C (ESC - Geral) são, portanto, devido à influência harmónica presente no circuito dos elevadores.

Desta forma, o dimensionamento económico terá apenas em consideração os quatro quadros elétricos restantes.

5.5.2. Dimensionamento económico

Em resultado do dimensionamento técnico dos filtros de harmónicos a instalar, é possível estimar uma solução mais económica, se considerarmos a escolha dos filtros com base nos valores de corrente medidos nos quadros elétricos, devido ao sobredimensionamento dos equipamentos atualmente instalados.

De qualquer forma, será apresentado um dimensionamento para ambos os casos já referidos.

Com base nos valores de corrente instalada nos quadros elétricos, é possível constatar uma poupança significativa na escolha entre os equipamentos do fornecedor A e fornecedor B.

O fornecedor B é aquele que apresenta uma solução mais económica, num valor total de 63 510,00 €. Ainda assim, um valor considerável, para um possível investimento por parte do cliente, que deverá ter em consideração o tempo de amortização do investimento e avaliar se é justificável o risco.

Comparando soluções entre os dois fornecedores, o fornecedor B consegue destacar-se com uma diferença de preços em 23 772,00 €.

Tabela 5.28 – Dimensionamento económico com base nos valores de corrente instalada nos quadros elétricos

CUSTOS (corrente instalada)		
Quadro Elétrico	**Fornecedor A**	**Fornecedor B**
Q.G.S.C. (CC)	22 854,00 €	27 696,00 €
Q.G.S.C. (ESC. - Geral)	21 476,00 €	13 998,00 €
Q.G.G.-1	21 476,00 €	10 908,00 €
Q.G.S.C.-1	21 476,00 €	10 908,00 €
TOTAL	**87 282,00 €**	**63 510,00 €**

Por último, apresenta-se as propostas de solução por parte dos fornecedores, considerando a corrente medida nos quadros elétricos.

Analisando os preços praticados pelo fornecedor A, facilmente se conclui que não existe grande disparidade, quer se dimensione os filtros considerando a corrente instalada, quer se dimensione os mesmos, considerando a corrente medida nos quadros elétricos. Isto deve-se, à sua relação de preços e limitada gama de produto capaz de compensar a corrente necessária.

Como se pode observar na figura 5.23, o fornecedor A apenas apresenta 3 soluções, nomeadamente de 30 A, 90 A e 180 A. Ao passo, que o fornecedor B, apresenta uma gama mais vasta de soluções com as seguintes correntes de compensação: 30 A, 45 A, 60 A, 90 A e 180 A.

A maior diversidade de produto e maior variação de preços, beneficiam o fornecedor B, na escolha para a instalação dos filtros harmónicos.

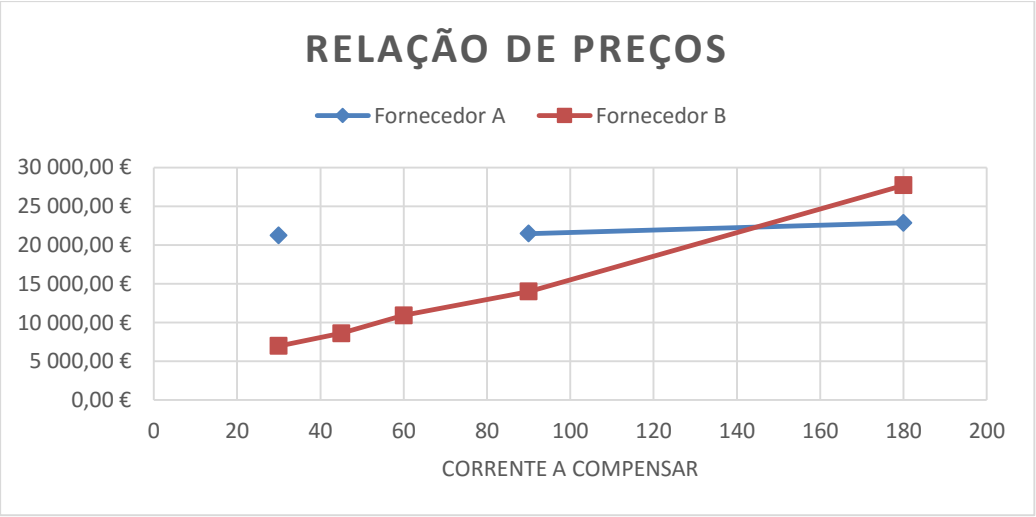

Figura 5.23 - Relação de Preços entre os fornecedores

De igual modo, é possível concluir que o fornecedor B, é aquele que apresenta uma solução mais económica, num valor total de 33 456,00 €, em comparação com o custo total de 85 392,00€ proposto pelo fornecedor A.

Em termos gerais, verifica-se que a melhor solução é optar pelo dimensionamento dos filtros considerando a corrente medida, e produtos/preços propostos pelo fornecedor B.

Tabela 5.29 – Dimensionamento económico com base nos valores de corrente medida nos quadros elétricos

CUSTOS (corrente medida)		
Quadro Elétrico	**Fornecedor A**	**Fornecedor B**
Q.G.S.C. (CC)	21 476,00 €	10 908,00 €
Q.G.S.C. (ESC. - Geral)	21 220,00 €	6 978,00 €
Q.G.G.-1	21 220,00 €	8 592,00 €
Q.G.S.C.-1	21 476,00 €	6 978,00 €
TOTAL	85 392,00 €	33 456,00 €

A amortização do investimento, deverá ser planeada conforme os custos da Instalação do cliente, visto não existirem outros indicadores de custo/avarias provocadas pelas distorções harmónicas registadas.

Capítulo 6

Conclusão

O caminho para a gestão de edifício seguros e de alto desempenho começa com a visão holística do edifico, com o conhecimento de como este funciona e opera e como ocupa o seu espaço.

Atualmente, nas grandes instalações, a elevada qualidade de energia traduz-se em elevada produtividade, e por isso, é cada vez mais importante a realização de análises ao comportamento elétrico dos edifícios e até, por vezes, é necessário dar um reforço à sua infraestrutura de energia.

Concluídas as análises de qualidade de energia, verifica-se que o fenómeno com maior relevância para os problemas detetados nas instalações é a presença de harmónicos e a distorção harmónica.

Constata-se que estão presentes nas instalações, harmónicos de diversas ordens (3ª,5ª,7ª), sendo os principais responsáveis pela poluição harmónica:

- Os equipamentos com fontes de alimentação monofásicas, característico das cargas informáticas que produzem harmónicos de ordem 3, 5 e 7 principalmente;
- Os variadores de frequência, para regulação de velocidade dos motores assíncronos, normalmente de seis pulsos, que geram particularmente harmónicos de 5ª e 7ª ordem;
- Os sistemas de alimentação ininterrupta (UPS) que no caso daqueles, com retificador de seis pulsos, geram os mesmos harmónicos anteriormente mencionados;
- A iluminação fluorescente e LED, que normalmente tem um peso significativo na carga de uma instalação elétrica, é também responsável pela injeção de harmónicos.

Com exceção do Q.E.A.C.(CC), registou-se elevadas taxas de distorção harmónica, elevadas correntes de neutro e alguns desequilíbrios de cargas elétricas.

A presença harmónica nos principais quadros elétricos das instalações, além da distorção das formas de onda, ocasiona diversos problemas nos equipamentos dos quais se destaca:

- Aumento das perdas através do aquecimento dos condutores, resultando num aumento dos consumos elétricos;
- Sobrecarga, vibração e envelhecimento prematuro dos motores dos elevadores;
- Sobrecarga e envelhecimento prematuro das baterias de condensadores;
- Interferências nos equipamentos de comunicação;
- Distorção da tensão de alimentação que pode perturbar cargas sensíveis

Na medida de mitigar e eventualmente corrigir na totalidade estes problemas, torna-se necessário a instalação de filtros ativos nas instalações, com o objetivo de eliminar a presença harmónica e diminuir as taxas de distorção harmónica para valores aceites pelos critérios estabelecidos.

A escolha de filtros ativos como solução do problema, justifica-se com a filtragem de uma ampla gama de frequências, sendo que também se pode adaptar a qualquer tipo de carga, evitando assim fenómenos de ressonância.

Concluído o dimensionamento económico dos filtros, pode-se afirmar que um possível futuro investimento seria na ordem das dezenas de milhares de euros, valores bastante elevados, que deveram ser sempre bem ponderados.

Quanto às baterias de condensadores instaladas, a sua capacidade total é suficiente para as necessidades de compensação de energia reativa. No entanto, constata-se que o cliente continua a pagar energia reativa capacitiva por injeção indevida na rede elétrica em horas de vazio. Esta questão deverá ser estudada futuramente, nomeadamente averiguar se os controladores das baterias de condensadores apresentam um correto funcionamento, no sentido de se controlar os horários ON/OFF das baterias, consoante os horários de vazio e não vazio na rede elétrica.

6.1. Trabalhos futuros

Terminado o trabalho desenvolvido na empresa MANVIA e tendo em conta os resultados obtidos, deverão ser realizadas algumas análises e correções no futuro:

- Deverá ser realizada uma análise mais pormenorizada dos problemas e custos de avarias provocadas pela presença harmónica nas instalações, de modo a que o cliente tenha na sua posse, uma noção da relação entre os custos de investimento e os ganhos com a mitigação/eliminação dos problemas, bem como o prazo de retorno do investimento;
- De igual modo, deverá ser estudado nas instalações, os equipamentos que permanecem ligados e contribuem para a faturação responsável da energia reativa capacitiva.
- Quanto à bateria de condensadores instalada no Q.G.S.C. do edifício, deverá ser estudada a possibilidade de se alterar os seus escalões de compensação, de modo a evitar a entrada e saída indevida de condensadores, o que pode justificar também a penalização na faturação de energia reativa.

Anexos

Equipamento de análise

O equipamento utilizado nas medições elétricas, foi o analisador de redes HT GSC53N, como representado na figura abaixo.

Figura A.1 - Equipamento de Análise HT GSC53N [24]

Caraterísticas técnicas do equipamento

GSC53N – Acessórios Standard

- Conjunto 4 cabos (2m), 4 crocodilos;
- Alimentador externo;
- Conjunto de 3 Pinças flexíveis 1000/3000A - diâmetro 174 mm;
- Programa de gestão para ambiente Windows (TOPVIEW);
- Cabo de ligação série RS-232;

Caraterísticas técnicas:

- **Função ANALYZER e AUX**

● MEDIÇÃO DE TENSÃO – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS (ESCALA AUTOMÁTICA)

Escala [V]	Resolução [V]	Precisão	Impedância de entrada
15 ÷ 310	0.2	±(0.5% leitura + 2 dgt)	300kΩ (Fase-Neutro) 300kΩ (Fase-Fase)
310 ÷ 600	0.4		

● MEDIÇÃO DE ANOMALIAS DE TENSÃO – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS (selecção MANUAL da ESCALA)

Escala [V]	Resolução (Tensão)	Resolução (Tempo)	Precisão (Tensão)	Precisão (rif. 50Hz) (Tempo)	Impedância de entrada
15 ÷ 310	0.2V	½ período (10ms)	±(1.0% leitura + 2 dgt)	± 10ms	300kΩ (Fase-Neutro) 300kΩ (Fase-Fase)
30 ÷ 600	0.4V				

● MEDIÇÃO DE CORRENTE ATRAVÉS DE PINÇA EXTERNA – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Fundo da escala (*)	Resolução [mV]	Precisão	Impedância d'entrada	Protecção contra sobrecargas
0.005 ÷0.26V	0.1	±(0.5% leitura + 2 dgt)	200kΩ	5V
0.26 ÷1V	0.4			

(*): Exemplo: utilizando uma pinça com fundo de escala igual a 1000A/1V, o instrumento mede correntes superiores a 5°

● MEDIÇÃO DE CORRENTE COM PINÇA FlexINT (só GSC53N), escala 1000A – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Fundo da escala (A)	Tensão de entrada	Resolução	Precisão
10.0 ÷19.9	950.0µV ÷ 1.691mV	8.5µV	±(4.0%leitura+8.5µV)
20.0 ÷ 99.9	1.7mV ÷ 8.491mV		±(1.0%leitura+8.5µV)
100.0 ÷ 999.9	8.5mV ÷ 84.99mV		±(1.0%leitura+85µV)

1A = 85µV ; Rentrada = 400kΩ

● MEDIÇÃO DE CORRENTE COM PINÇA FlexINT (só GSC53N), escala 3000A – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Fundo da escala (A)	Tensão de entrada	Resolução	Precisão
30.0 ÷ 999.9	2.55mV ÷ 84.99mV	8.5µV	±(1.0%leitura+17µV)
1000 ÷ 3000	85.0mV ÷ 255mV	85µV	±(0.5%leitura+85µV)

1A = 85µV ; Rentrada = 400kΩ

● MEDIÇÃO DE POTÊNCIA – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Tipo Medição	Escala	Precisão	Resolução
POTÊNCIA ACTIVA	100.0 ÷ 999.9W 1.000 ÷ 9.999kW 10.00 ÷ 99.99kW 100.0 ÷ 999.9kW 1.000 ÷ 9.999MW 10.00 ÷ 99.99MW 100.0 ÷ 999.9MW	±(1.0%Leitura + 2 dgt)	0.1W 0.1kW 0.1MW 1MW
POTÊNCIA REACTIVA	100.0 ÷ 999.9VAR 1.000 ÷ 9.999kVAR 10.00 ÷ 99.99kVAR 100.0 ÷ 999.9kVAR 1.000 ÷ 9.999MVAR 10.00 ÷ 99.99MVAR 100.0 ÷ 999.9MVAR		0.1VAR 0.1kVAR 0.1MVAR 1MVAR
POTÊNCIA APARENTE	100.0 ÷ 999.9VA 1.000 ÷ 9.999kVA 10.00 ÷ 99.99kVA 100.0 ÷ 999.9kVA 1.000 ÷ 9.999MVA 10.00 ÷ 99.99MVA 100.0 ÷ 999.9MVA		0.1VA 0.1kVA 0.1MVA 1MVA
ENERGIA ACTIVA (Classe2 EN61036)	100.0 ÷ 999.9Wh 1.000 ÷ 9.999kWh 10.00 ÷ 99.99kWh 100.0 ÷ 999.9kWh 1.000 ÷ 9.999MWh 10.00 ÷ 99.99MWh 100.0 ÷ 999.9MWh		0.1Wh 0.1kWh 0.1MWh 1MWh
ENERGIA REACTIVA (Classe3 IEC1268)	100.0 ÷ 999.9VARh 1.000 ÷ 9.999kVARh 10.00 ÷ 99.99kVARh 100.0 ÷ 999.9kVARh 1.000 ÷ 9.999MVARh 10.00 ÷ 99.99MVARh 100.0 ÷ 999.9MVARh		0.1VARh 0.1kVARh 0.1MVARh 1MVARh

● MEDIÇÃO DO Cosφ – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Cosφ	Resolução	Precisão expressa em graus [°]
0.20	0.01	0.6
0.50		0.7
0.80		1.0

● MEDIÇÃO DE HARMÓNICOS – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Escala	Precisão de base	Resolução Máxima
CC – 25H	±(5% + 2 dgt)	0.1V / 0.1A
26H – 33H	±(10% + 2 dgt)	
34H – 49H	±(15% + 2 dgt)	

Os harmónicos são levados a zero nos seguintes patamares:
CC: se <2% do 1° harmónico ou se < 0,2% do Fundo da escala das Pinças
1° harmónica: se <0,2% do Fundo da escala das Pinças
2° ÷ 49°: se <2% do 1° harmónico ou se < 0,2% do Fundo da escala das Pinças
A definição **FLEX** desactiva a medição dos Componentes CC

● MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS (Função AUX)

Escala	Precisão	Resolução
-20°C ÷ 80 °C	±(2% Leitura + 2dgt)	0.1 °C
0 ÷ 100% UR		0.1% UR
0.001Lux ÷ 20.00 Lux		0.001 ÷ 0.02 Lux
0.1Lux ÷ 2000 Lux		0.1 ÷ 2 Lux
1Lux ÷ 20 kLux		1 ÷ 20 Lux

(*) A precisão para a sonda luximétrica HT53 está conforme a classe AA

● MEDIÇÃO DAS CORRENTES DE FUGA (através de Pinça opcional)

Escala [mA] (*)	Resolução [mA]	Precisão	Impedância de entrada	Protecção contra sobrecargas
0.5 ÷ 999.9	0.1	±(5% leitura + 2dgt)	200kΩ	5V

(*): Durante a gravação o instrumento só memoriza valores de corrente > 5mA com resolução 1mA
O valor máximo gravado é o valor de pico calculado com tempo de resposta de 1ms

Figura A.2 – Caraterísticas técnicas do equipamento de medição [24]

Certificado de Calibração do equipamento

Apresenta-se o certificado de calibração do equipamento utilizado à prática das medições elétricas realizadas. Este certificado tem a validade de 2 anos.

- **Marca:** HT ITALIA
- **Modelo:** GSC 53N
- **Nº série:** 05012216

Certificado de calibração: CELE4313/15

- Data de emissão: 28-08-2015

Validade desconhecida
Digitally signed by LABMETRO_ONLINE
Date: 2015.08.28 15:27:11 +01:00
Reason: Documento aprovado electronicamente

Laboratório de Calibração em Metrologia Electro-Física

IPAC acreditação M0059 Calibração

Certificado de Calibração

Data 28-08-2015 | Certificado nº. CELE4313/15 | Página 1 de 9

Equipamento	**ANALISADOR DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS** Marca: HT ITALIA — Nº ident.: --- Modelo: GSC 53N — Nº série: **05012216** Indicação: Digital
Cliente	**MANVIA MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES E CONSTRUÇÃO SA** RUA MÁRIO DIONÍSIO, 2 2799-557 LINDA-A-VELHA
Data de Calibração	**27.08.2015**
Condições Ambientais	Temperatura: 22,0 °C — Humidade relativa: 52,9 %
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: Especificação de fabricante nos testes realizados

Figura A.3 – Certificado de Calibração (página 1) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 2 de 9

Resistência (Low Ω)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
20 Ω	Short	0,00 Ω	---	---	---
	0,25 Ω	0,25 Ω	0,00 Ω	± 0,03 Ω	± 0,01 Ω
	50 Ω	50,0 Ω	0,0 Ω	± 1,2 Ω	± 0,1 Ω

Tensão de ensaio sobre uma resistência de 20MΩ

Valor padrão	Valor nominal	Incerteza
54,2 V	50 V	± 0,3 V
102,7 V	100 V	± 0,3 V
257,5 V	250 V	± 0,3 V
521,7 V	500 V	± 0,4 V
1048,0 V	1000 V	± 0,5 V

Isolamento (RISO)

Gama / Função	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
500 V/MΩ	0,22 MΩ	0,22 MΩ	0,00 MΩ	± 0,02 MΩ	± 0,01 MΩ
	1,8 MΩ	1,80 MΩ	0,00 MΩ	± 0,06 MΩ	± 0,01 MΩ
1000 V/MΩ	5 MΩ	5,00 MΩ	0,00 MΩ	± 0,12 MΩ	± 0,09 MΩ
	30 MΩ	30,0 MΩ	0,0 MΩ	± 0,8 MΩ	± 0,2 MΩ
	77 MΩ	77,1 MΩ	0,1 MΩ	± 1,7 MΩ	± 0,2 MΩ
	1500 MΩ	1502 MΩ	2 MΩ	± 77 MΩ	± 1 MΩ

Figura A.4 - Certificado de Calibração (página 2) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 3 de 9

RCD

Valor padrão	Valor seleccionado	Erro	Tolerância	Incerteza
10,35 mA	10 mA	-0,35 mA	± 2,00 mA	± 0,01 mA
30,91 mA	30 mA	-0,91 mA	± 3,00 mA	± 0,01 mA
101,9 mA	100 mA	-1,9 mA	± 4,0 mA	± 0,1 mA

Resistência (Earth)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
20 Ω	Short	0,01 Ω	---	---	---
	0,1 Ω	0,11 Ω	0,01 Ω	0,04 Ω	± 0,01 Ω
200 Ω	120 Ω	120,0 Ω	0,0 Ω	6,3 Ω	± 0,1 Ω
2000 Ω	300 Ω	300 Ω	0 Ω	18 Ω	± 1 Ω
	1800 Ω	1798 Ω	-2 Ω	93 Ω	± 1 Ω

Tensão alternada (B1-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
600 V	100 V/50Hz	99,9 V	-0,1 V	± 0,7 V	± 0,1 V
	230 V/50Hz	230,4 V	0,4 V	± 1,4 V	± 0,2 V
	400 V/50Hz	400,1 V	0,1 V	± 2,2 V	± 0,3 V

Figura A.5 - Certificado de Calibração (página 3) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 4 de 9

Tensão alternada (B2-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
600 V	100 V/50Hz	99,8 V	-0,2 V	± 0,7 V	± 0,1 V
	230 V/50Hz	230,1 V	0,1 V	± 1,4 V	± 0,2 V
	400 V/50Hz	399,5 V	-0,5 V	± 2,2 V	± 0,3 V

Tensão alternada (B3-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
600 V	100 V/50Hz	99,7 V	-0,3 V	± 0,7 V	± 0,1 V
	230 V/50Hz	230,0 V	0,0 V	± 1,4 V	± 0,2 V
	400 V/50Hz	398,8 V	-1,2 V	± 2,2 V	± 0,3 V

Corrente alternada (I1)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
3000 A	45 A/50Hz	45,0 A	0,0 A	± 0,5 A	± 0,3 A
	100 A/50Hz	100,4 A	0,4 A	± 1,1 A	± 0,4 A
	250 A/50Hz	250,8 A	0,8 A	± 2,6 A	± 0,9 A
	400 A/50Hz	400,7 A	0,7 A	± 4,1 A	± 1,3 A
	530 A/50Hz	531,5 A	1,5 A	± 5,4 A	± 1,7 A

Figura A.6 - Certificado de Calibração (página 4) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 5 de 9

Corrente alternada (I2)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
3000 A	45 A/50Hz	45,1 A	0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A
	100 A/50Hz	100,4 A	0,4 A	± 1,1 A	± 0,4 A
	250 A/50Hz	251,4 A	1,4 A	± 2,6 A	± 0,9 A
	400 A/50Hz	402,4 A	2,4 A	± 4,1 A	± 1,3 A
	530 A/50Hz	533,6 A	3,6 A	± 5,4 A	± 1,7 A

Corrente alternada (I3)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza
3000 A	45 A/50Hz	45,1 A	0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A
	100 A/50Hz	100,2 A	0,2 A	± 1,1 A	± 0,4 A
	250 A/50Hz	251,5 A	1,5 A	± 2,6 A	± 0,9 A
	400 A/50Hz	401,8 A	1,8 A	± 4,1 A	± 1,3 A
	530 A/50Hz	533,2 A	3,2 A	± 5,4 A	± 1,7 A

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,3	44,9	0,50	5,177	0,002 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	230,5	99,5	0,50	11,49	-0,01 kW	± 0,13 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	230,4	250,2	0,50	28,77	0,02 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,5	399,3	0,50	45,87	-0,13 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230,5	530,2	0,50	60,77	-0,18 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Figura A.7 - Certificado de Calibração (página 5) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 6 de 9

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,1	45,2	0,50	5,194	0,019 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	230,2	99,6	0,50	11,51	0,01 kW	± 0,14 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	230,2	250,9	0,50	28,86	0,11 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,1	400,1	0,50	45,87	-0,13 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230.1	531,6	0,50	60,82	-0,13 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Potência Activa Monofásica - Indutivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,0	44,8	0,50	5,177	0,002 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	230,0	99,5	0,50	11,45	-0,05 kW	± 0,13 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	230,0	250,4	0,50	28,74	-0,01 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,0	399,4	0,50	45,82	-0,18 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230,0	530,5	0,50	60,65	-0,30 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Potência Reactiva - Indutivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	8,963	230,3	44,9	0,50	8,924	-0,039 kVAr	± 0,048 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	19,92	230,5	99,5	0,50	19,84	-0,08 kVAr	± 0,11 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	49,80	230,4	250,2	0,50	49,91	0,11 kVAr	± 0,27 kVAr	± 0,27 kVAr	(1)
	400	0,5	79,67	230,5	399,3	0,50	79,78	0,11 kVAr	± 0,43 kVAr	± 0,43 kVAr	(1)
	530	0,5	105,6	230,5	530,2	0,50	105,9	0,3 kVAr	± 0,6 kVAr	± 0,6 kVAr	(1)

Figura A.8 - Certificado de Calibração (página 6) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 7 de 9

Potência Reactiva - Indutivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	8,963	230,1	45,2	0,50	8,922	-0,041 kVAr	± 0,091 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	19,92	230,2	99,6	0,50	19,83	-0,09 kVAr	± 0,22 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	49,80	230,2	250,9	0,50	49,97	0,17 kVAr	± 0,52 kVAr	± 0,27 kVAr	(!)
	400	0,5	79,67	230,1	400,1	0,50	79,93	0,26 kVAr	± 0,82 kVAr	± 0,43 kVAr	(!)
	530	0,5	105,6	230,1	531,6	0,50	106,1	0,5 kVAr	± 1,3 kVAr	± 0,6 kVAr	(!)

Potência Reactiva - Indutivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	8,963	230,0	44,8	0,50	8,922	-0,041 kVAr	± 0,091 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	19,92	230,0	99,5	0,50	19,84	-0,08 kVAr	± 0,22 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	49,80	230,0	250,4	0,50	49,89	0,09 kVAr	± 0,52 kVAr	± 0,27 kVAr	(!)
	400	0,5	79,67	230,0	399,4	0,50	79,79	0,12 kVAr	± 0,82 kVAr	± 0,43 kVAr	(!)
	530	0,5	105,6	230,0	530,5	0,50	105,9	0,3 kVAr	± 1,3 kVAr	± 0,6 kVAr	(!)

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,5	45,0	0,50	5,175	0,000 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	230,5	99,8	0,50	11,46	-0,04 kW	± 0,13 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	230,4	250,5	0,50	28,88	0,13 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,4	399,3	0,50	45,89	-0,11 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230,5	530,2	0,50	61,09	0,14 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Figura A.9 - Certificado de Calibração (página 7) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 8 de 9

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,1	44,8	0,50	5,174	-0,001 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	230,1	100,1	0,50	11,48	-0,02 kW	± 0,13 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	230,1	251,3	0,50	28,87	0,12 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,0	400,5	0,50	45,94	-0,06 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230,1	531.6	0,50	61,15	0,20 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza
V	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW			
230	45	0,5	5,175	230,0	45,0	0,50	5,176	0,001 kW	± 0,054 kW	± 0,028 kW
	100	0,5	11,50	229,9	99,8	0,50	11,47	-0,03 kW	± 0,13 kW	± 0,07 kW
	250	0,5	28,75	229,9	250,6	0,50	28,82	0,07 kW	± 0,31 kW	± 0,16 kW
	400	0,5	46,00	230,1	399,7	0,50	45,96	-0,04 kW	± 0,48 kW	± 0,25 kW
	530	0,5	60,95	230,0	530,4	0,50	61,14	0,19 kW	± 0,63 kW	± 0,33 kW

Potência Reactiva - Capacitivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	-8,963	230,5	45,0	0,50	-8,996	-0,033 kVAr	± 0,092 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	-19,92	230,5	99,8	0,50	-19,90	0,02 kVAr	± 0,22 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	-49,80	230,4	250,5	0,50	-49,95	-0,15 kVAr	± 0,52 kVAr	± 0,27 kVAr	(!)
	400	0,5	-79,67	230,4	399,3	0,50	-79,72	-0,05 kVAr	± 0,82 kVAr	± 0,43 kVAr	(!)
	530	0,5	-105,6	230,5	530,2	0,50	-105,8	-0,2 kVAr	± 1,3 kVAr	± 0,6 kVAr	(!)

Figura A.10 - Certificado de Calibração (página 8) [27]

Laboratório de Calibração em
Metrologia Electro-Física

Continuação de Certificado

nº. CELE4313/15 Página 9 de 9

Potência Reactiva - Capacitivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	-8,963	230,1	44,8	0,50	-9,004	-0,041 kVAr	± 0,092 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	-19,92	230,1	100,1	0,50	-19,94	-0,02 kVAr	± 0,22 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	-49,80	230,1	251,3	0,50	-50,00	-0,20 kVAr	± 0,52 kVAr	± 0,27 kVAr	(!)
	400	0,5	-79,67	230,0	400,5	0,50	-79,89	-0,22 kVAr	± 0,82 kVAr	± 0,43 kVAr	(!)
	530	0,5	-105,6	230,1	531,6	0,50	-105,8	-0,2 kVAr	± 1,3 kVAr	± 0,6 kVAr	(!)

Potência Reactiva - Capacitivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

Valor padrão				Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	
V	A	cos φ	kvar	V	A	cos φ	kvar				
230	45	0,5	-8,963	230,0	45,0	0,50	-8,977	-0,014 kVAr	± 0,092 kVAr	± 0,048 kVAr	
	100	0,5	-19,92	229,9	99,8	0,50	-19,88	0,04 kVAr	± 0,22 kVAr	± 0,11 kVAr	
	250	0,5	-49,80	229,9	250,6	0,50	-49,85	-0,05 kVAr	± 0,52 kVAr	± 0,27 kVAr	(!)
	400	0,5	-79,67	230,1	399,7	0,50	-79,62	0,05 kVAr	± 0,82 kVAr	± 0,43 kVAr	(!)
	530	0,5	-105,6	230,0	530,4	0,50	-105,6	0,0 kVAr	± 1,3 kVAr	± 0,6 kVAr	(!)

(!) 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.

Figura A.11 - Certificado de Calibração (página 9) [27]

Software de Análise – TOPVIEW

Para o descarregamento de dados e análise gráfica e/ou numérica dos dados recolhidos utilizou-se o software TOPVIEW.

O TOPVIEW é uma ferramenta informática que funciona como um osciloscópio e permite efetuar análises numéricas ou gráficas dos dados extraídos.

Figura A.12 - Vista genérica do software

Com o programa inicializado, procede-se à conexão do equipamento através da opção "PC-Ligação ao Aparelho" no sentido de se emparelhar o analisar de redes com o computador onde se vai extrair/analisar os dados.

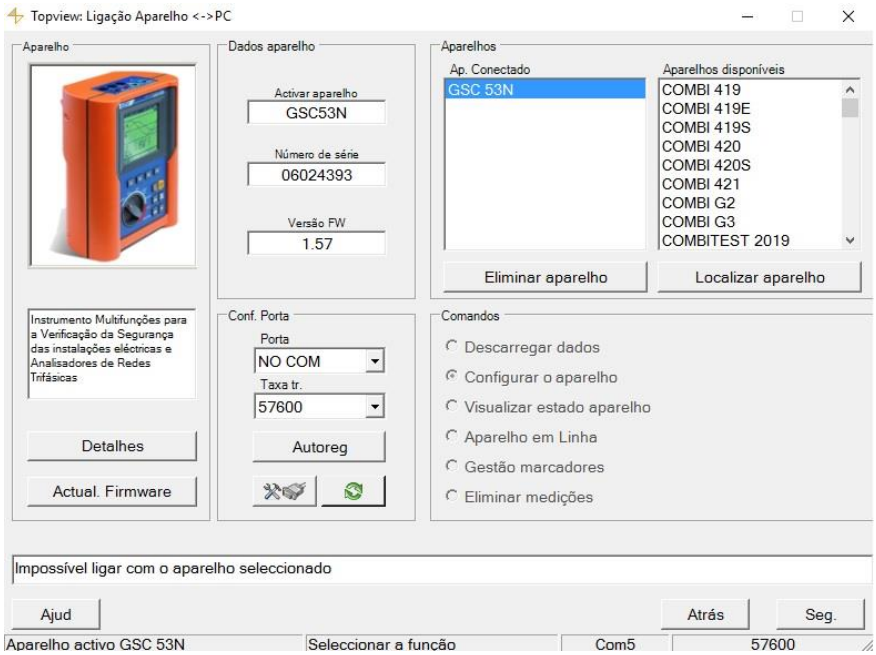

Figura A.13 – Emparelhamento do equipamento

O próximo passo é a “Análise dados”, onde se seleciona o ficheiro gravado que pretendemos analisar.

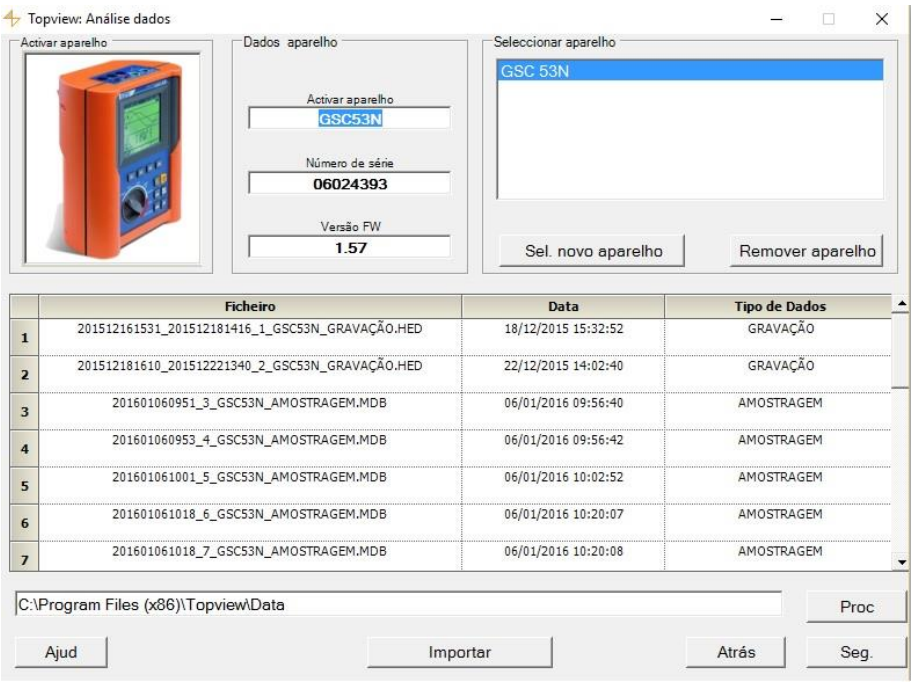

Figura A.14 - Seleção da gravação de dados a analisar

Carregado o ficheiro de dados é possível visualizar o comportamento de diversos parâmetros registados, tais como:

- Tensão;
- Corrente de fuga;
- Potência/Energia ativa;
- Potência/Energia reativa;
- Potência/Energia aparente;
- Fator de Potência;
- Cos Phi;
- Harmónicos de Tensão;
- Harmónicos de Corrente.

Seleciona-se o parâmetro que pretendemos analisar e obtém-se a sua representação gráfica ao longo do tempo, estilo osciloscópio. Neste exemplo estão representadas as variações de tensão registadas para um dado quadro elétrico, num dado período de tempo.

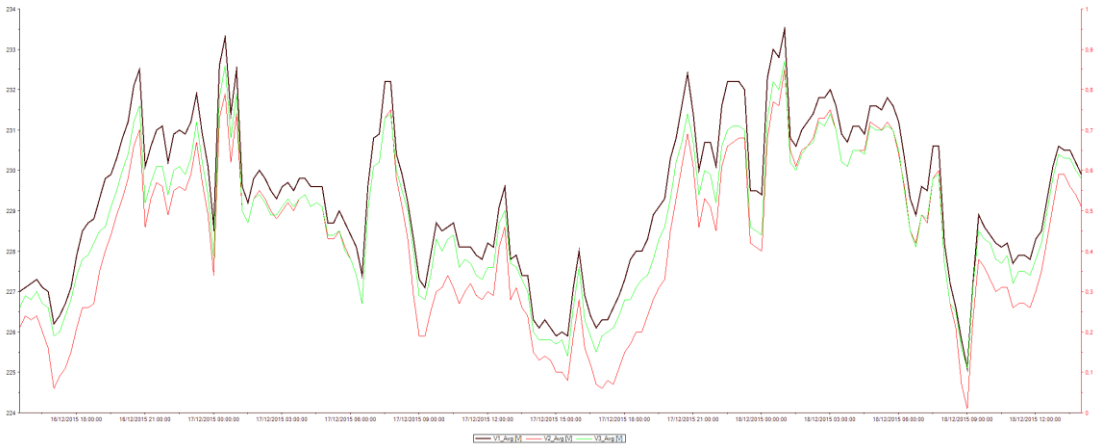

Figura A.15 - Representação gráfica, ao longo do tempo, do parâmetro selecionado

Diagrama de Energia das Instalações

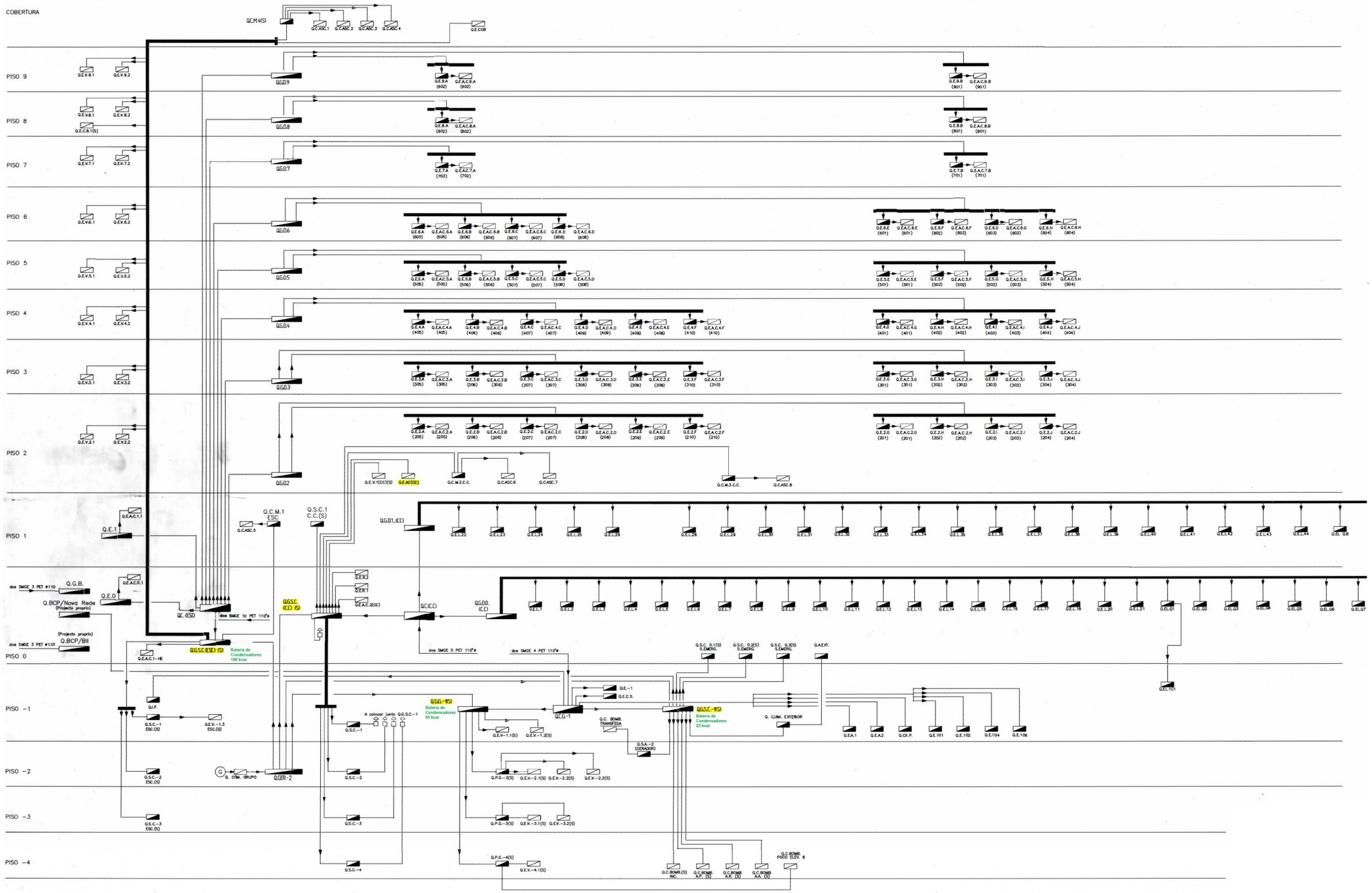

Figura A.16 – Diagrama de alimentação e distribuição de energia [23]

Referências

[1] CTE 8 (IEP), "Carateristicas da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia elétrica (NP EN 50160)",Portugal, IPQ, Dezembro de 2010.

[2] Franco, Edgard, "Qualidade de Energia – Causas , Efeitos e Soluções", 2013.

[3] EDP, "Manual da Qualidade da energia eléctrica", Dezembro de 2005.

[4] Lopes, João Abel Peças, "Instalações eléctricas industriais - Perturbações na tensão e seus impactos na exploração de redes elétricas industriais", Porto, FEUP.

[5] Baptista, José Manuel Ribeiro, "Análise harmónica em instalações elétricas BT, Harmosim - uma ferramenta eficiente de simulação", UTAD, 2006.

[6] Deckman, S.M., Pomilio,J.A., "Distúrbios que afetam a Qualidade de Energia", Curso Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica, DSCE-FEEC, 2010.

[7] Martins, J.S., Couto, C., Afonso, J.L., "Qualidade de energia Elétrica", CLME 2003, Guimarães, pp 219-231, Agosto de 2003.

[8] ABB Power Systems, "Soluções para Qualidade de Energia e Aumento de Produtividade".

[9] Diário da República, Despacho n.º 7253/2010, pp 21945-21949, 26 de Abril de 2010.

[10] ABB Power Systems, "Correção do fator de potência", 2014.

[11] Santos, J. Neves, "Compensação do fator de potência", Porto,FEUP, Abril de 2006.

[12] Schneider Electric, "Compensação de energia reactiva e Filtragem de Harmónicas B.T.", Lisboa, Março de 2010.

[13] Schneider Electric, "Definição Harmónica", disponível em: http://www.electrical-installation.org/enwiki/Definition_of_harmonics.

[14] IEEE, IEEE Std 519-1992 - " IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems ", 1992.

[15] Ribeiro,Enio Roberto, "Filtros ativos série para a compensação de harmónicos de tensão", Florianópolis, Fevereiro de 2003.

[16] SGS, "Auditoria Enegética", disponível em: http://www.sgs.pt/pt-PT/Sustainability/Environment/Energy-Services/Energy-Audits-and-Management/Energy-Audit.aspx.

[17] ADENE, "Gestão de Energia - Auditoria Energética", disponível em: http://www.adene.pt/textofaqs/auditoria-energetica.

[18] ADENE, "Auditoria Energética - Enquadramento",disponível em: http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0.

[19] Diário da República, "Decreto-Lei n.º 118/2013", vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.

[20] Diário da Republica, "Decreto-Lei n.º 71/2008 - Regulamentação do sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE)", Abril de 2008.

[21] ADENE, Documento exemplar do "Certificado Energético Grande Edifício de Comércio e Serviços",disponivel em: http://www.adene.pt.

[22] Portal Energia - Energias Renováveis, "A importância e as fases de uma auditoria energética", disponível em: http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/.

[23] Lda, Joaquim Matos de Almeida, "Diagrama de alimentação e distribuição de energia", Tela Final, Porto, Outubro de 1996.

[24] HT ITALIA, "Manual de instruções do equipamento HT ITALIA GSC53N - GSC57", 2004.

[25] Paiva, José Pedro Sucena, "Redes de Energia Elétrica - Uma Análise Sistémica", 4ª Edição, IST Press, 2015.

[26] CYDESA, "Lista de preços e Manual técnico", 2016

[27] ISQ, “Certificado de Calibração do equipamento”, CELE4313/15, 2015.

[28] Arrillaga,J., Watson,N.R., "Power System Harmonics”, New York: John Wiley and Sons, 2003.

[29] Dugan,R.C., McGranaghan, M.F., Beaty,H.W., “Electrical Power Systems Quality”, New York: Mc Graw Hill, 1996.