



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DOMÍNIO DA ENERGIA REATIVA DE UMA UNIDADE DA FORÇA AÉREA

MARIA DE LURDES MARQUES CARNEIRO DO NASCIMENTO SÁ PEREIRA
novembro de 2019

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DOMÍNIO DA ENERGIA REATIVA DE UMA UNIDADE DA FORÇA AÉREA

MARIA DE LURDES MARQUES CARNEIRO DO NASCIMENTO SÁ PEREIRA



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Maria de Lurdes Marques Carneiro do Nascimento Sá Pereira, N° 1171486,
1171486@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Entidade: Força Aérea Portuguesa

Supervisão: Coronel, Professor Doutor Carlos Jorge Ramos Páscoa, cjpascoa@emfa.pt

Coronel José Alberto da Silva Nogueira, am1_cmd_gab@emfa.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

Dedico esta Tese aos meus filhos, Inês e Pedro e ao meu marido, Miguel.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à minha família, aos meus queridos filhos, Inês e Pedro e ao meu querido marido Miguel, a possibilidade de realização deste trabalho, sem eles nada disto seria possível, porque acreditaram que eu era capaz.

Agradeço-lhes todo o Amor que sempre me dedicaram, compreensão e imensa paciência.

Agradeço também aos meus pais, que sempre acreditaram em mim.

Agradeço aos meus padrinhos pela dedicação permanente.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor José António Beleza de Carvalho, pela dedicação, conhecimento transmitido e motivação para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os colaboradores da Base Aérea de Maceda pelo tempo e paciência e disponibilidade demonstrada durante os dias que lá estive em trabalho para recolha de dados, nomeadamente, ao Coronel Nogueira, atual Comandante da Base Aérea, ao Coronel Professor Doutor Carlos Páscoa, ao Tenente Vítor Teixeira, ao Alferes Ricardo Ferreira, ao Sargento-Ajudante João Costa, ao 1.º - Sargento João Fraga e ao Assistente Técnico Paulo Costa.

Agradeço também a todos os meus Professores do Mestrado.

Resumo

As alterações climáticas e a emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) estão na ordem do dia e assumem uma importância a nível global, dado terem implicações graves em todo o planeta, afetando atualmente milhões de pessoas e comprometendo o futuro das próximas gerações. É, portanto, urgente mitigar as mesmas tomando medidas a nível de eficiência energética, reduzindo consumos de eletricidade e visando a descarbonização das economias mundiais.

Inserido no Programa Horizonte 2020 (designadamente no Programa LIFE), a Força Aérea realizou um estudo sobre eficiência energética na infraestrutura aeronáutica de uma Unidade da Força Aérea. Importa, agora, identificar qual o impacto que a iluminação mais eficiente (LED) terá em termos de geração de Energia Reativa, quando associada à já conhecida tendência da Unidade de fornecer Energia Reativa à Rede de Distribuição, designadamente em termos de qualidade e custo. [1]

A dissertação proposta tem por finalidade (identificando a temática nos domínios científico e académico), produzir um trabalho científico, tendo como domínio uma instalação elétrica de uma Unidade da Força Aérea, em anel, para o estudo da energia reativa, capacitiva.

O trabalho de dissertação foi realizado no Aeródromo de Manobra N.º 1 (AM1) da Força Aérea, localizado em Maceda – Ovar, 30 km a Sul da cidade do Porto.

Dos treze Postos de Transformação (PT's) existentes no local, após levantamento de dados e verificação *in loco*, constatou-se que dois deles estavam fora de serviço e outros dois não tinham qualquer transformador de potência. Num dos PT's, o PT n.º 6, com dois transformadores de potência, o de 300 kVA estava fora de serviço.

Assim, foram então efetuadas várias análises aos PT's existentes e em serviço, num total de nove, e à subestação, tendo sido utilizados dois analisadores de rede e qualidade da energia da marca FLUKE.

Foram obtidos e registados os diversos parâmetros elétricos, nomeadamente, tensão, corrente, frequência, potências ativa e reativa, indutiva e capacitiva, potência aparente, energia ativa e reativa, fator de potência, $\cos \varphi$, taxa de distorção harmónica total em tensão e corrente.

Registaram-se também parâmetros da qualidade, nomeadamente, Cavas, Interrupções e Sobretensões. As faturas de energia elétrica foram disponibilizadas para verificação dos

consumos de energia reativa indutiva e capacitiva, antes e após a substituição da Iluminação Interior e Exterior (Pública) de luminárias antigas por novas luminárias com lâmpadas LED.

Concluiu-se que houve de facto um incremento no valor da energia reativa capacitiva e geração de harmónicas, pelo que foi estudado e analisado o estado da arte relativamente às novas tecnologias, tendo-se concluído que a solução passaria pela implementação de filtros ativos. O investimento é elevado, mas o prazo de amortização é razoável. A solução permitirá, assim, contribuir para uma melhor eficiência energética e para mitigar as Alterações Climáticas, a emissão de GEE e a descarbonização.

Palavras-Chave

Impacto da iluminação LED na geração de Energia Reativa, Componentes Harmónicas, Mitigação das Alterações Climáticas, Eficiência Energética e Filtros Ativos.

Abstract

Climate change and greenhouse gas (GHG) emissions are in the spotlight as they are widely discussed and reported and they assume importance around the globe due to having serious implications to the planet, affecting millions of people and putting the future of the subsequent generations in danger. Therefore, the mitigation of the latter is urgent which requires actions to improve the energetic efficiency, reduce electricity consumption and target the decarbonization of the world's economies.

Thereby, considering the "Horizonte 2020" Programme (specifically the LIFE Programme), the Portuguese Air Force carried out a study about the energetic efficiency of the aeronautic infrastructure in a Portuguese Air Force Base. In this matter, the importance to evaluate the impact created by the most efficient lighting (LED) in terms of Reactive Power generation when gathered with the known tendency of the facility to supply Reactive Power to the distribution network, namely concerning quality and cost.

The main goal of this dissertation was to produce scientific work by framing the subject in scientific and academic domains and having an electrical installation of a Portuguese Air Force Base as a reference to study reactive power, capacitive.

The work with in this dissertation has been done at Airbase of Maneuvering N°1 (AM1) of Portuguese Air Force, in Maceda – Ovar, 30 km south of the city of Porto.

Upon collecting all the required data in several detailed visits to the premises: of the thirteen existing PTs, two were out-of-service and another two were completely off without any of the power transformer installed. The PT n° 6 had two power transformers but the one with nominal power of 300 kVA was out-of-service.

Therefore, several analyses were done in all the on-line existent PTs, in a total of nine, plus the sub-station.

The two power quality and network analysers used in these analyses were from the FLUKE brand.

With these analyses there were obtained and registered several quality parameters including swells, interruptions, overvoltages occurrences. The electric energy bill invoices were also provided to improve analyses data and to allow matching the consumptions of reactive energy (inductive and capacitive), before and after the replacement of lighting, interior and exterior (public) old luminaires by new LED luminaires.

In conclusion, there was, in fact, an increase to the values of capacitive reactive energy and harmonics generation, thereby, it was studied and analysed the state of the art technologies in this field to be concluded that the solution would be the implementation of active filters. The investment is considerable but the payback is reasonable. The solution will edge the electrical efficiency within the premises and the mitigation of climate change, green house gases and CO₂ reduction.

Key words:

LED lighting impact in the generation of reactive energy, harmonic components, mitigation of the climate change, electrical efficiency and active filters.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Acrónimos	XIX
1. Introdução	1
1.1. BREVE HISTÓRIA DA BASE AÉREA DE MACEDA – AM1	2
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	5
2. Enquadramento geral	7
2.1. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E DESCARBONIZAÇÃO	7
2.2. POLÍTICA CLIMÁTICA EM PORTUGAL	9
2.3. FATURAÇÃO DE ENERGIA REATIVA EM PORTUGAL	11
2.3.1. <i>Períodos tarifários</i>	13
2.3.2. <i>Períodos horários</i>	14
2.4. PROGRAMA HORIZON 2020 – PROGRAMA LIFE	15
2.5. ESTADO DA ARTE	15
2.6. CONCLUSÃO	17
3. Técnicas e tecnologias de eficiência energética	19
3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	19
3.2. IMPACTO DA ILUMINAÇÃO LED NO CONSUMO DE ENERGIA REATIVA	21
3.3. REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGIA REATIVA E MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM PORTUGAL	26
3.4. CORREÇÃO FATOR POTÊNCIA	27
3.5. METODOLOGIA DE ESCALONAMENTO	31
3.6. QUALIDADE DE SERVIÇO	32
3.6.1. <i>Norma NP EN 50160</i>	38
3.6.2. <i>Norma CEI/IEC 61000</i>	38
3.6.3. <i>Norma ANSI/IEEE 519</i>	39
3.6.4. <i>Outros aspetos gerais</i>	39

3.6.5. Parâmetros para a avaliação da qualidade da tensão.....	40
3.7. COMPONENTES HARMÓNICAS.....	41
3.7.1. Tensão harmónica.....	42
3.7.2. Indicadores e padrões de qualidade.....	44
3.7.3. Principais fontes de componentes harmónicas.....	46
3.7.4. Efeitos das perturbações sobre as cargas e processos.....	47
3.8. FILTRO ATIVO.....	49
3.9. CONCLUSÃO.....	51
4.Trabalhos efetuados na base aérea	53
4.1 CASO DE ESTUDO.....	53
4.1.1. Identificação de problemas detetados.....	55
4.1.2. Soluções.....	61
4.2. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS.....	64
4.2.1. Análise da subestação.....	64
4.2.2. Análise do posto de transformação PT1 – antes da substituição da iluminação.....	70
4.2.3. Análise do posto de transformação PT1 – após substituição iluminação.....	72
4.2.4. Análise do posto de transformação PT2.....	76
4.2.5. Análise do posto de transformação PT3.....	78
4.2.6. Análise do posto de transformação PT4.....	81
4.2.7. Análise do posto de transformação PT6.....	83
4.2.8. Análise do posto de transformação PT9.....	85
4.2.9. Análise do posto de transformação PT11.....	87
4.2.10. Análise do posto de transformação PT12.....	90
4.2.11. Análise do posto de transformação PT13.....	92
4.3. ANÁLISE ECONÓMICA.....	96
4.4. ANÁLISE DA FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	97
4.5. CÁLCULO DO <i>PAYBACK</i>	98
4.6. CONCLUSÃO.....	99
5. Conclusões	101
5.1. RECOMENDAÇÕES.....	104
5.1.1. Medidas de eficiência energética na infraestrutura aeronáutica AM1.....	104
5.1.2. Desenvolvimentos futuros.....	105
Documentação bibliográfica	107
Anexo A – Catálogo técnico de filtros ativos	115
Anexo B – Fichas de características dos filtros ativos tipo FA44W	126
Anexo C – Ficha de características das luminárias LED de exterior	130

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Período 2015-2019, o mais quente [3].....	7
Figura 2.2 – Crescimento das emissões em CO ₂ em 2018 [3].....	8
Figura 2.3 – Objetivos a atingir em 2030 [5].....	8
Figura 2.4 – metas a atingir a nível de temperaturas [5].....	9
Figura 2.5 – Quadro Estratégico para a Política Climática – Componentes [11].....	10
Figura 3.1 – Potência reativa capacitiva no PT1 antes da substituição da iluminação.....	23
Figura 3.2 - Potência reativa capacitiva no PT1 após substituição da iluminação.....	24
Figura 3.3 – Valores de THD no PT1 antes da instalação de luminárias LED.....	24
Figura 3.4 - Valores de THD no PT1 após a instalação de luminárias LED.....	25
Figura 3.5 – Terceira harmónica no PT1 após instalação de luminárias LED.....	25
Figura 3.6 – Qualidade de serviço – continuidade de serviço no setor elétrico [23].....	35
Figura 3.7 – Terceira harmónica no PT1 após substituição da iluminação.....	43
Figura 4.1 – Esquema unifilar da Base Aérea de Maceda_AM1.....	53
Figura 4.2 – Potência reativa máxima na Subestação.....	65
Figura 4.3 – Valor máximo do fator de potência na Subestação.....	65
Figura 4.4 – Valor máximo do cos ϕ na Subestação.....	66
Figura 4.5 – Valor de THD na Subestação.....	66
Figura 4.6 – Componentes Harmónicas registadas na Subestação.....	67
Figura 4.7 – Corrente máxima por fase e N na Subestação.....	68
Figura 4.8 – Frequência máxima e desequilíbrios na Subestação.....	68
Figura 4.9 – Cavas registadas na Subestação.....	69
Figura 4.10 – Diagrama de carga da subestação, dia 7 de março de 2019.....	69
Figura 4.11 – Potência reativa máxima no PT1.....	70
Figura 4.12 – Valor máximo do fator de potência no PT1.....	70
Figura 4.13 – Valor máximo do cos ϕ no PT1.....	71
Figura 4.14 – Valor de THD no PT1.....	71
Figura 4.15 – Valor máximo de potência reativa no PT1 após substituição da iluminação.....	72

Figura 4.16 – Valor máximo do fator de potência no PT1 após substituição da iluminação.....	73
Figura 4.17 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT1 após substituição da iluminação.....	73
Figura 4.18 – Valor de THD no PT1 após substituição da iluminação.....	74
Figura 4.19 – Componentes harmônicas no PT1 após substituição da iluminação.....	75
Figura 4.20 - terceira harmónica no PT1 após substituição da iluminação.....	75
Figura 4.21 – Potência reativa máxima no PT2.....	76
Figura 4.22 – Valor máximo fator de potência PT2.....	76
Figura 4.23 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT2.....	77
Figura 4.24 – Valor de THD no PT2.....	77
Figura 4.25 – Potência reativa máxima no PT3.....	78
Figura 4.26 - Valor máximo fator de potência no PT3.....	79
Figura 4.27 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT3.....	79
Figura 4.28 – Valor THD no PT3.....	80
Figura 4.29 – Componentes harmônicas no PT3.....	80
Figura 4.30 – Potência reativa máxima no PT4.....	81
Figura 4.31 - Valor máximo fator de potência no PT4.....	82
Figura 4.32 - Valor máximo $\cos \varphi$ no PT4.....	82
Figura 4.33 – Valor THD no PT4.....	83
Figura 4.34 – Potência reativa máxima no PT6.....	83
Figura 4.35 – Valor máximo do fator de potência no PT6.....	84
Figura 4.36 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT6.....	84
Figura 4.37 – Valor THD no PT6.....	85
Figura 4.38 – Potência reativa máxima no PT9.....	85
Figura 4.39 – Valor máximo do fator de potência no PT9.....	86
Figura 4.40 – Valor máximo de $\cos \varphi$ no PT9.....	86
Figura 4.41 – Valor THD no PT9.....	87
Figura 4.42 – Potência reativa máxima no PT11.....	87
Figura 4.43 - Valor máximo do fator de potência no PT11.....	88
Figura 4.44 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT11.....	88
Figura 4.45 – Valor THD no PT11.....	89

Figura 4.46 – Potência reativa máxima no PT12.....	90
Figura 4.47 - Valor máximo do fator de potência no PT12.....	90
Figura 4.48 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT12.....	91
Figura 4.49 – Valor THD no PT12.....	91
Figura 4.50 – Componentes harmônicas no PT12.....	92
Figura 4.51 – Potência reativa máxima no PT13.....	93
Figura 4.52 - Valor máximo do fator de potência no PT13.....	93
Figura 4.53 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT13.....	94
Figura 4.54 – Valor THD no PT13.....	94
Figura 4.55 – Componentes harmônicas no PT13.....	95

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Escalões para energia reativa indutiva [7].....	13
Tabela 2.2 - Tarifa de acesso às redes em AT [8].....	13
Tabela 2.3 - Períodos Horários [10].....	14
Tabela 3.1 – Limites corrente harmónica [19].....	44
Tabela 3.2 – Limites para as tensões harmónicas individuais, expressas em % da tensão nominal, de acordo com a norma NP EN 50160 [25].....	45
Tabela 3.3 – Principais efeitos das componentes harmónicas para cada equipamento [24].....	49
Tabela 4.1 - Cabos instalados entre PTs e entre PT e Subestação.....	54
Tabela 4.2 – Cabo monopolar tipo LXHIV, Tensão 8,7 / 15 kV - Características Principais.....	55
Tabela 4.3 – FA a considerar por PT [31].....	62
Tabela 4.4 – Características dos FA [31].....	63
Tabela 4.5 – Custo dos Filtros Ativos a instalar [33].....	96
Tabela 4.6 – Custo dos TIs e cabo [34].....	96
Tabela 4.7 – Consumos de energia e potência em janeiro de 2019 [35].....	98
Tabela 4.8 – <i>Payback</i> do investimento.....	98
Tabela 4.9 - Valores de potência e energia reativa registados e calculados.....	102

Acrónimos

AM1	– Aeródromo de Manobra N.º 1
AP	– Acordo de Paris
AT	– Alta Tensão
BT	– Baixa Tensão
BTE	– Baixa Tensão Especial
C	– Capacidade em Farad
CCV	– Compromisso para o Crescimento Verde
CELE	– Comércio Europeu de Licenças
CENELEC	– Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica
CH	– Horas Cheias
CICCPA	– Centro de Instrução Cinotécnico do Corpo de Polícia de Polícia Aérea
CIGRÉ	– Comité Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CPLP	– Comunidade dos Países de Língua Portuguesa
CO2	– Dióxido de Carbono
CTCFA	– Centro de Treino Cinotécnico da Força Aérea
DGEG	– Direção Geral Energia e Geologia
DPF	– <i>Displacement Power Factor</i>
DVR	– <i>Dynamic Voltage Restorer</i>
ECO.AP	– Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
ERSE	– Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
F	– Farad
FA	– Filtro Ativo
FACTS	– <i>Flexible Alternating Current Transmission System</i>
FV	– Fotovoltaico
GEE	– Gases de Efeito de Estufa
IGBTs	– <i>Insulated Gate Bipolar Transistors</i>
IPCC	– Intergovernmental Panel on Climate Change
IPFC	– <i>Inter-line Power Flow Controller</i>
ISEP	– Instituto Superior de Engenharia do Porto

Kg	– Quilograma
LED	– <i>Light Emission Diode</i>
LIFE	– <i>L'Instrument Financier pour l'Environment</i>
MAT	– Muito Alta Tensão
MT	– Média Tensão
N	– Neutro
NATO	– <i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NPC	– <i>Neutral Point Clamped</i>
ONU	– Organização das Nações Unidas
P	– Ponta
PAC	– Ponto de Acoplamento Comum
PAPIS	– <i>Precision Approach Path Indicators</i>
PLC	– <i>Programmable Logic Controller</i>
PNAC	– Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAEE	– Programa Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	– Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PTs	– Postos de Transformação
QEPiC	– Quadro Estratégico para a Política Climática
RMS	– <i>Root Mean Square</i>
RRC	– Regulamento das Relações Comerciais
RQS	– Regulamento da Qualidade de Serviço
RT	– Regulamento Tarifário
SEE	– Sistema Elétrico de Energia
SMES	– <i>Superconducting Magnetic Energy Storage</i>
SNIERPA	– Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos
SSSC	– <i>Static Synchronous Series Compensator</i>
STATCOM	– <i>Static Synchronous Compensator</i>
SV	– Super Vazio
SVCs	– <i>Static VAR Compensators</i>
TCRs	– <i>Tyristor Controlled Reactors</i>
TCSC	– <i>Tyristor Controlled Series Compensator</i>
THD	– <i>Total Harmonic Distortion</i>

TSCs	– <i>Tyristor-Switched Capacitors</i>
UE	– União Europeia
UPFC	– <i>Unified Power Flow Controller</i>
V	– Volt
VA	– Volt-ampere
VSAP	– Vapor de Sódio de Alta Pressão
VN	– Vazio Normal
W	– Watt
WMO	– <i>World Meteorological Organization</i>

1. Introdução

Esta dissertação insere-se no domínio da unidade curricular de Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), no âmbito de um protocolo existente entre o ISEP e a Força Aérea Portuguesa.

O estudo de caso permitirá identificar a situação atual da Energia Reativa numa infraestrutura aeronáutica de uma das Unidades da Força Aérea e comparar com *state of the art* no mercado para essa área, otimizando o consumo energético, traduzindo-se, também, numa adequação mais eficiente do universo dos instrumentos de trabalho às necessidades da Organização. [1]

Portugal ratificou o Acordo de Paris em 2016, estando por isso envolvido e comprometido em processos de planeamento de adaptação e na implementação de ações que visam mitigar as alterações climáticas.

Nesse sentido, o Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC), inclui o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação Às Alterações Climáticas (ENAAC 2020). Na vertente da mitigação também inclui a implementação do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). A nível nacional também está estabelecido o Compromisso para o Crescimento Verde (CCV), que visa a redução de emissões de GEE.

A realização de projetos ambientais de duplo-uso (aplicação civil e militar) nas organizações possibilita ir de encontro ao desiderato ambiental identificado pelo Estado Português e a exploração dos sistemas de iluminação de forma mais eficiente e eficaz, criando sustentabilidade nos domínios ambiental, financeiro, de segurança e de política de exploração.

1.1. Breve História da Base Aérea de Maceda – AM1

O trabalho foi desenvolvido na Base Aérea de Maceda – Aeródromo de Manobra N.º 1 (AM1). Tendo sido identificada na instalação da Base Aérea de Maceda uma tendência de fornecimento de Energia Reativa à rede de distribuição foi necessário efetuar uma análise à instalação, para verificar qual o impacto que a implementação da iluminação LED terá a este nível. Para isso, foram utilizados dois analisadores de redes, da marca FLUKE, para medir e registar os vários parâmetros elétricos nos Postos de Transformação (PTs) desta Unidade da Força Aérea. Em conformidade com esta análise e após tratamento de dados mediante a utilização do software POWER LOGIC conclui-se que será necessário instalar equipamento de filtragem de harmónicas e compensação de energia reativa capacitiva em vários PTs para solucionar o problema.

O Aeródromo de Manobra N.º 1 (AM1) da Força Aérea está localizado em Maceda - Ovar, 30 Km a Sul da cidade do Porto. A sua construção iniciou-se por fases, em 1957, tendo ficado concluída em 1966.

Inicialmente, a infraestrutura teve como finalidade proporcionar facilidades de estacionamento e apoio a aviões de Patrulhamento Marítimo da NATO, em caso de guerra (Guerra Fria).

Em 22 de novembro de 1963, pela Portaria N.º 20183, entretanto revogada pela Portaria N.º 20363 de 06FEV64, foi definido que o AM1 dependia da 1ª Região Aérea «para o enquadramento do pessoal da Força Aérea necessário à guarda das instalações e sua manutenção em estado de utilização». Era sua missão apoiar aviões de patrulhamento marítimo e luta antissubmarina nas áreas «*Southern Cinceastlant and Cinciberlant*».

A Portaria N.º 20584 de 13MAR64, atualizou a finalidade do AM1 para «enquadramento eventual de unidades aéreas operacionais», tendo sido utilizado por forças aéreas da NATO: Portugal, França, Reino Unido e Estados Unidos.

Em 2 de abril de 1965 foi atribuída à Força Aérea a responsabilidade da manutenção e operação do AM1/INOVAR. É esta a data que, desde 1980, tem vindo a ser comemorada como «O DIA DA UNIDADE».

Em novembro de 1975 convergiram para o AM1 os meios aéreos adequados que possibilitaram o desfecho conhecido do 25 de novembro de 1975, aqui comemorado em 1980 com a presença de Sua Excelência, o Presidente da República.

Em 22 de janeiro de 1986 é criado o Centro de Instrução Cinotécnico do Corpo de Polícia Aérea (CICCPA). Sedeado no AM1, ficou com a Missão de formar equipas cinotécnicas e manter, em permanência, uma equipa de demonstração apta a divulgar o trabalho com cães militares.

Com a extinção do Corpo de Polícia Aérea, O CICCPA ganhou a sua atual designação de Centro de Treino Cinotécnico da Força Aérea (CTCFA).

Em 2011 o CTCFA comemorou 25 anos ao serviço da Força Aérea tendo, ao longo da sua vida, sido responsável pela formação de mais de 1500 militares entre Treinadores, Monitores e Instrutores bem como de igual número de cães militares. Desde então, este binómio homem/animal tem-se constituído como importante elemento da defesa próxima na maior parte das Unidades da Força Aérea. Simultaneamente, através da sua equipa de demonstração, tem divulgado a sua atividade de excelência ao mesmo tempo que tem contribuído para a dignificação e engrandecimento da imagem da Força Aérea.

No dia 06 de outubro de 2004 é implementado no AM1 um Centro de Divulgação da Defesa Nacional. É através deste Centro que longas centenas de jovens, de ambos os sexos, da zona Norte do país têm o primeiro contacto com a realidade da Defesa Nacional, das Forças Armadas Portuguesas e da Força Aérea em particular.

A 6 de abril de 2005, por ocasião das comemorações do Dia da Unidade, foi inaugurado no AM1 o Pólo do Museu do Ar, no Norte do país. O Museu apresenta um espólio apreciável composto por diversas aeronaves, veículos de apoio diverso e um vasto conjunto

de outros equipamentos/materiais relacionados com as mais diversas áreas de operação da Força Aérea Portuguesa. Esta Infraestrutura encontra-se aberta ao público, sendo um pólo de atração para visitantes das mais diversas nacionalidades.

Desde a sua implantação e no cumprimento da missão atribuída, o AM1 tem apoiado inúmeros eventos nacionais e aliados. Assim, na vertente nacional, verificou-se a sua utilização por destacamentos aéreos das Esquadras 501 (C-130H) e 601 (P-3P) que se deslocaram para a Unidade a fim de efetuar missões de qualificação das suas tripulações. Igualmente, as Esquadras 201 e 301 (F-16) aqui efetuaram missões de treino operacional e alerta de Defesa Aérea. Também a Academia da Força Aérea elegeu o AM1 como Unidade ideal para efetuar a largada de futuros Pilotos Aviadores, bem como para a realização dos exercícios de Comando e Liderança e Exercícios Finais. Na vertente aliada, o AM1 recebeu destacamentos da *NAEW Component* com o E-3A AWACS bem como destacamentos de C-130 da Força Aérea Belga.

Tem ainda servido de plataforma de apoio a eventos de alta visibilidade a Norte de Portugal, nomeadamente as Comemorações do Dia de Portugal e das Comunidades Portuguesas, Comemorações do Dia da Força Aérea e a realização do Exercício Felino 2008 que envolveu todos os países da CPLP.

Em 2010 acolheu, como Unidade da *Host Nation*, diversos treinos da Esquadra do F-16 MLU, com vista ao FORCEVAL da NATO que decorreu em março de 2011, para certificação das componentes Operacionais, Logística e *Force Protection* da Esquadra 301 para fazer face aos compromissos internacionais assumidos.

Na vertente do apoio a missões de interesse público, o AM1 acolhe, há vários anos, o destacamento permanente de um ALIII da ESQ 552 da BA11, para Busca e Salvamento na zona Norte do país bem como tem servido, sempre que necessário, de base a meios aéreos dedicados a operações de combate a incêndios florestais. Da mesma forma, tem apoiado missões de transporte de equipas médicas de recolha de órgãos para transplantes urgentes na zona Norte do país. [2]

1.2. Objetivos

A dissertação tem por finalidade (identificando a temática nos domínios científico e académico), produzir um trabalho científico, tendo como domínio uma instalação elétrica de uma Unidade da Força Aérea, em anel, para o estudo da energia reativa, capacitiva, com os seguintes objetivos [1]:

- Identificação de instalações alimentadas por cada Posto de Transformação (PT) e suas potências;
- Análise por PT da Energia Reativa, de forma a isolar cada PT do restante anel da Unidade com o objetivo de identificar as possíveis fontes e a quantificar a Energia Reativa por PT e o seu tipo (indutiva ou capacitiva);
- Análise na Subestação da energia reativa;
- Estudo, após a análise dos valores por cada PT e na Subestação, para identificar se compensa corrigir localmente (por PT ou mesmo por edifício caso se encontrem os equipamentos que originam a energia reativa) ou de forma global na Subestação.
- Identificação de Soluções com o respetivo estudo económico e impacte ambiental

1.3. Organização do estudo de caso

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos.

Depois deste primeiro Capítulo, no qual se faz o enquadramento do assunto desenvolvido nesta Dissertação, no Capítulo 2 desenvolve-se o Estado da Arte sobre o assunto.

No capítulo 3, apresentam-se diferentes Técnicas e Tecnologias relacionadas com Eficiência Energética. No Capítulo 4 desenvolve-se o Caso de Estudo que é objetivo desta dissertação.

No Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões obtidas com a realização desta dissertação e referem-se possíveis formas de continuação do trabalho desenvolvido.

Esta página foi propositadamente deixada em branco

2. Enquadramento geral

2.1. Alterações climáticas e descarbonização

De acordo com o relatório divulgado pela *World Meteorological Organization (WMO)*, o período de 2015-2019 é o mais quente alguma vez registado, tendo sido verificado um aumento da temperatura média global de 1,1 °C desde o período pré-industrial e cerca de 0,2 °C comparando com o período 2011-2015.

Os impactos climáticos são mais fortes e surgem mais cedo do que o que foi previamente previsto. Como exemplos podemos citar os efeitos trágicos ocorridos em 2019 nas Bahamas e em Moçambique. O nível do mar aumentou e as tempestades tropicais intensas conduzem a catástrofes humanitárias e económicas.

As emissões de CO₂ tiveram um crescimento de 2% em 2018, rumo a um *record* de 37 mil milhões de toneladas! Emissões não projetadas para o horizonte 2030, deixando isoladas as projeções de 2020. [3]



Figura 2.1 – Período 2015-2019, o mais quente [3]

Reduções em emissões de GEE são exigidas a todos os setores.



Figura 2.2 – Crescimento das emissões em CO₂ em 2018 [3]

No entanto, por parte da União Europeia existe um acordo – Acordo de Paris, através do qual existem metas a atingir com o objetivo de travar os efeitos das alterações climáticas, limitar o aumento de temperatura global e reduzir a emissão de GEE.

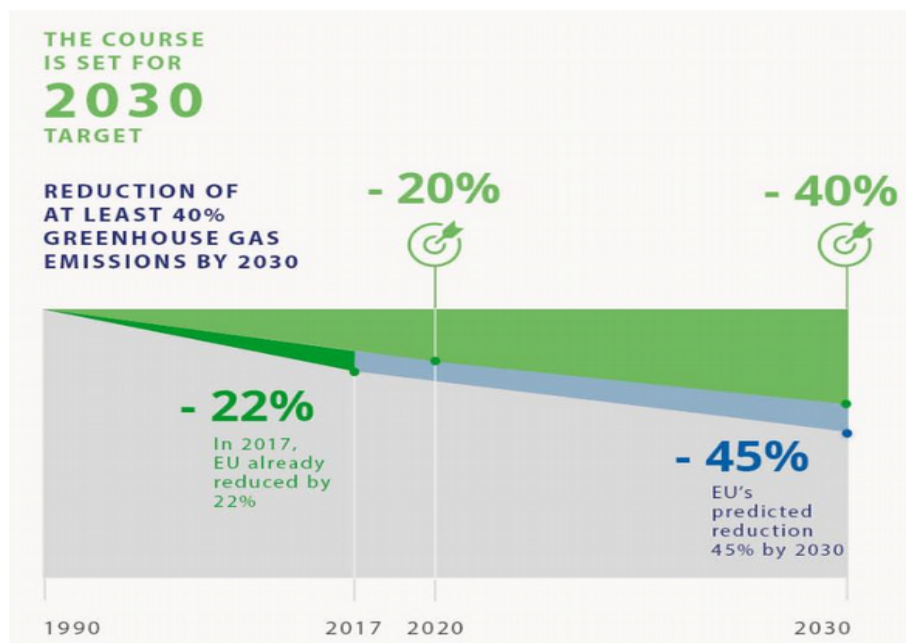


Figura 2.3 – Objetivos a atingir em 2030 [5]

O Acordo de Paris (AP) tem como objetivo limitar o aumento de temperatura média global para que fique 2 °C abaixo dos níveis pré-industriais e prosseguir esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C. Atualmente, e em conformidade com o relatório supracitado, para se conseguir atingir estes objetivos é necessário triplicar esforços e um quádruplo dos esforços, respetivamente, para se atingir tais limites. [3]

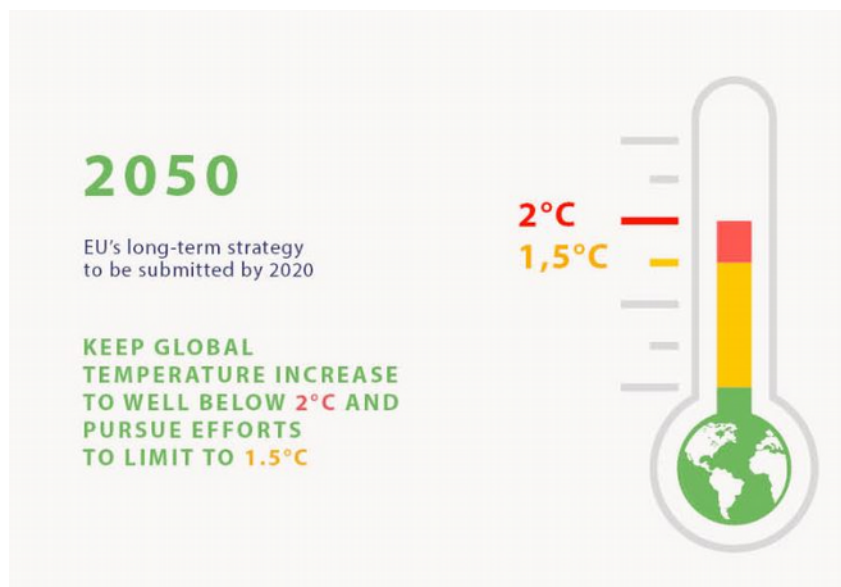


Figura 2.4 – metas a atingir a nível de temperaturas [5]

2.2. Política climática em Portugal

O Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC), inclui o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação Às Alterações Climáticas (ENAAC 2020). Na vertente da mitigação, também inclui a implementação do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). A nível nacional também está estabelecido o Compromisso para o Crescimento Verde (CCV), que visa a redução de emissões de GEE.

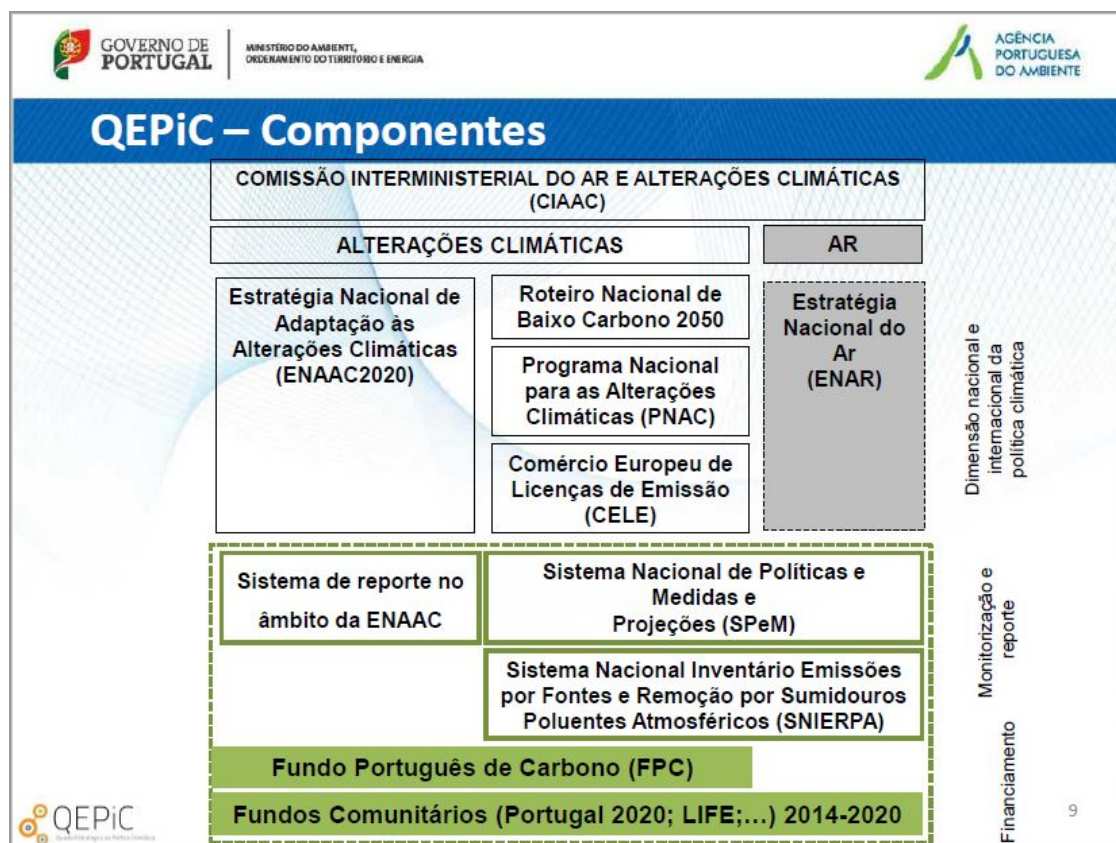


Figura 2.5 – Quadro Estratégico para a Política Climática – Componentes [11]

De acordo com Resolução do Conselho de Ministros N.º 20 de 2015 ficou estabelecido que no âmbito de diversos acordos internacionais Portugal deve assegurar o envio regular de informação sobre a emissão de gases e poluentes atmosféricos, a fim de permitir o estudo das metas a estabelecer e a verificação do respetivo cumprimento, com o objetivo de promover a proteção e a preservação da qualidade do ar ambiente e o combate às alterações climáticas.

Em face da evolução dos requisitos decorrentes dos recentes compromissos internacionais e dos instrumentos normativos europeus e da experiência adquirida ao longo dos últimos anos, torna -se necessário proceder à reestruturação e atualização do Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos (SNIERPA), criado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 68/2005, de 13 de janeiro, [...] que visa garantir a elaboração do inventário nacional de emissões antropogénicas por

fontes e remoção por sumidouros de poluentes atmosféricos (INERPA), de acordo com os requisitos e as diretrizes europeias e internacionais, e assegurar a coerência, a comparabilidade e o rigor das estimativas efetuadas, tendo em conta o princípio do custo-eficiência. [4]

2.3 Faturação de energia reativa em Portugal

Em Portugal, tendo em vista a mitigação das alterações climáticas e a redução das emissões de CO₂, ou seja, a descarbonização, foram criados programas específicos para atingir os objetivos propostos pelas Políticas Nacionais, tendo como base o Acordo de Paris.

O consumo de energia reativa é também um fator penalizante no que diz respeito ao consumo de energia e que não contribui para a eficiência energética, nem ajuda na mitigação das alterações climáticas.

Assim, o regime aprovado e definido para faturação de energia reativa tem por objetivo motivar comportamentos adequados dos clientes relativamente à compensação de energia reativa. Pretende-se objetivamente contribuir para a utilização mais eficiente das redes, em linha com os objetivos indicados no Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), nomeadamente, em matéria de redução das perdas e utilização da capacidade de transporte das redes. [6]

O mesmo regulamento estabelece que as regras de faturação dos encargos de energia reativa relativos ao uso da rede de transporte e distribuição são aprovadas pela ERSE, na sequência de apresentação de propostas dos operadores de redes. Pelo Despacho da ERSE n.º 7253/2010, de 26 de abril, foram aprovadas as novas regras de faturação de energia reativa, que vieram introduzir alterações significativas às regras de faturação anteriormente vigentes.

As principais alterações promovidas pela ERSE no regime de faturação da energia reativa consistem:

- na fixação de um valor mais exigente para o limiar de faturação da energia reativa indutiva no período fora de vazio.

- na introdução de 3 escalões de preço em função da $\text{tg } \varphi$ (0,3; 0,4 e 0,5).
- na fixação do período de integração diário para determinação das quantidades de energia reativa a faturar para instalações em Muita Alta Tensão (MAT), Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT) em Portugal Continental, que disponham de telecontagem.

A energia reativa é objeto de faturação nas entregas dos operadores de rede de distribuição a clientes em MAT, AT, MT e BTE, bem como, nas entregas do operador da rede de transporte ao operador da rede de distribuição.

A faturação de energia reativa pelo operador de rede de transporte ou distribuição só tem lugar após decorridos 8 meses de consumo de energia elétrica, para instalações novas e quando solicitado pelo cliente após uma variação de potência contratada da instalação de, pelo menos, 50%. A energia reativa é faturada por aplicação dos preços definidos em euros por kvarh, às quantidades apuradas nos termos do Guia de Medição, Leitura e Disponibilização de Dados.

O período de integração das entregas de energia reativa para aplicação das regras de faturação é diário, para os pontos de entrega a clientes em MAT, AT e MT em Portugal Continental.

A energia reativa indutiva medida nas horas fora de vazio em cada período de integração que exceda 30% da energia ativa consumida no mesmo período é objeto de faturação.

O preço aplicável à energia reativa indutiva medida nas horas fora de vazio é variável por escalões, em função da energia reativa indutiva medida em cada período de integração, em percentagem da energia ativa medida no mesmo período, considerando os seguintes valores da $\text{tg } \varphi$:

- a) Superior ou igual a 30% e inferior a 40%.
- b) Superior ou igual a 40% e inferior a 50%.
- c) Superior ou igual a 50%.

O preço da energia reativa indutiva nas horas fora de vazio aplicável em cada escalão de energia reativa indutiva é obtido através da aplicação de um fator multiplicativo a um preço de referência de energia reativa indutiva.

A energia reativa capacitiva medida em cada período de integração nas horas de vazio pode ser objeto de faturação. [6]

Tabela 2.1 – Escalões para energia reativa indutiva [7]

	Descrição	Factor multiplicativo
Escalão 1 (a partir de 01.01.2012)	Para $0,3 \leq \text{tg}\varphi < 0,4$	0,33
Escalão 2	Para $0,4 \leq \text{tg}\varphi < 0,5$	1
Escalão 3	Para $\text{tg}\varphi \geq 0,5$	3

2.3.1. Períodos tarifários

Existem 4 períodos tarifários correspondentes aos quatro trimestres do ano.

A Infraestrutura da Base Aérea conta com fornecimento em AT. Os períodos tarifários são designados como I, II, III e IV, correspondendo os períodos I e IV ao inverno e o II e III ao verão. Assim, o pagamento da tarifa de acesso às redes em AT é definido todos os anos pela ERSE. Em 2019, em conformidade com a Diretiva n.º5/2019, os preços são os indicados na tabela 2.2 . [9]

Tabela 2.2 - Tarifa de acesso às redes em AT [8]

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM AT		PREÇOS	
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia) *
	Horas de ponta	3,271	0,1075
	Contratada	0,623	0,0205
Energia ativa		(EUR/kWh)	
Períodos I, IV	Horas de ponta	0,0349	
	Horas cheias	0,0261	
	Horas de vazio normal	0,0138	
	Horas de super vazio	0,0136	
Períodos II, III	Horas de ponta	0,0348	
	Horas cheias	0,0261	
	Horas de vazio normal	0,0138	
	Horas de super vazio	0,0136	
Energia reativa		(EUR/kvarh)	
	Indutiva	0,0228	
	Capacitiva	0,0171	

2.3.2. Períodos horários

Tabela 2.3 - Períodos Horários [10]

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

No caso da infraestrutura da Base Aérea de Maceda AM1, o contrato é em AT, com ciclo semanal com feriados, no qual, os feriados são considerados como dias de domingo, com quatro períodos horários, constituídos por horas de Ponta, Cheias, Vazio e Super Vazio.

2.4. Programa Horizon 2020 – Programa LIFE

Assim, inserido no Programa Horizon 2020, programa-quadro de investigação e inovação da UE, O Programa LIFE, cujo acrónimo traduz *L'Instrument Financier pour l'Environnement*, é um instrumento financeiro comunitário que foi criado com o objectivo específico de contribuir para a execução, atualização e o desenvolvimento das Políticas e Estratégias Europeias na área do Ambiente, através do cofinanciamento de projetos com valor acrescentado europeu, a Força Aérea está também empenhada em contribuir para a melhoria da eficiência energética, redução das emissões de GEE, pelo que se propõe o estudo sobre a geração de Energia Reativa, quando associada à já conhecida tendência da Unidade de fornecer Energia Reativa à rede de Distribuição, designadamente em termos de qualidade e custo. [12]

2.5 Estado da arte

Em conformidade com o caso de estudo e estando centrado na temática da energia reativa e da distorção harmónica, foram observados vários artigos e estudada vária bibliografia com o objetivo de ser tomada a melhor solução, tendo presente o estado da arte.

De acordo com a informação obtida num artigo sobre Compensação de Energia Reativa (compensação Var) através da utilização de tirístores e conversores auto comutados, o problema da energia reativa é vista sob dois aspetos: compensação de carga e suporte de tensão.

São estudadas várias soluções nomeadamente compensação Var série e shunt, compensação Var estática (SVCs) usando condensadores comutados por tirístores (TSCs) e reatâncias controladas por tirístores (TCRs) para fornecer ou absorver a energia reativa demandada. Também existe a Compensação série controlo por tirístores (TCSC), os compensadores multinível e controladores de elevada performance utilizados nos conversores auto comutados como STATCOM, SSSC, DVR, UPFC, IPFC, SMES. No entanto a aplicação destas soluções tecnológicas para compensação Var tem maior aplicação no âmbito da melhoria e fiabilidade das redes de transmissão e transporte e não ao nível das redes de distribuição. [13]

Outro artigo que analisa a utilização de condensadores comutados por tirístores (TSC) para melhoria do fator de potência e compensação estática (SVC) como solução para correção do fator de potência.

Este artigo trata essencialmente a utilização do condensador comutado a tirístores - o *thyristor switched capacitor* (TSC) tipo SVC. A utilização do sistema *flexible alternating current transmission system* (FACTS), o qual requer menos manutenção e o qual proporciona o controlo rápido da tensão, quando comparado com sistemas tradicionais como reatâncias síncronas e condensadores. No entanto, os SVC são utilizados para regular a tensão de transporte e para melhoria da qualidade de serviço quando ligados na proximidade de cargas industriais. Este tipo de solução tem grande aplicação nas redes de transporte. [14]

Analisando outro artigo acerca da utilização de Filtros Ativos (FA), verifica-se que a tecnologia se tornou madura para permitir compensação de harmónicas e de energia reativa a quatro fios.

O problema da corrente de neutro excessiva é observada em sistemas trifásicos de 3 ou 4 fios, principalmente devido a cargas não lineares desequilibradas, como fontes de alimentação de computadores, iluminação fluorescente, etc. Tentativas para resolver os problemas de corrente de neutro e de correntes de cargas desequilibradas foram efetuadas em sistema trifásicos a quatro fios. Estas tentativas são de variados tipos, como a eliminação / redução de corrente de neutro, compensação harmónica, compensação de energia reativa e combinação destes.

Com a introdução dos transístores bipolares de porta isolada (IGBT's), a tecnologia dos FA teve um impulso efetivo e, atualmente, são considerados como equipamentos estáticos ideais. Os FA podem ser classificados baseados no tipo de conversor, topologia e no número de fases, como dois fios (monofásicos) e trifásicos a três ou quatro fios.

Um vasto número de cargas monofásicas pode ser alimentado a partir de redes trifásicas com condutor de neutro. O possível desequilíbrio de cargas nas três fases causa correntes

excessivas no condutor de neutro, forte penetração de componentes harmónicas e a consequente manifestação do aparecimento de energia reativa. Para reduzir estes problemas, os filtros ativos a quatro fios foram experimentados. Foram desenvolvidos como:

- a) Modo ativo shunt com alimentação de corrente e tensão
- b) Modo ativo série
- c) Forma híbrida com séries em modo shunt ativo e passivo.

Em geral, os FA são usados para compensar harmónicos de corrente e tensão, mas em muitos casos, eles têm funções adicionais, como compensação para energia reativa, desequilíbrio de corrente e tensão, corrente de neutro, *flicker* de tensão, picos de tensão e para regulação de tensão.

Com a poluição harmónica presente atualmente nos sistemas elétricos, a demanda de FA está a aumentar. As recomendações por normas como a IEEE-519 resultará no incremento da utilização de FA nos próximos anos.

O incremento substancial na utilização de controlo de potência estático resulta em poluição harmónica acima de limites toleráveis.

As *Utilities* a longo prazo vão induzir os consumidores com cargas não lineares a utilizar FA para manterem a qualidade de serviço em níveis aceitáveis. Um vasto número de configurações de FA está disponível para compensar componentes harmónicas, energia reativa, corrente de neutro, desequilíbrios de corrente. [15]

2.6. CONCLUSÃO

Neste capítulo foi abordada a temática das Alterações Climáticas, atualmente de extrema importância pelo impacto que causam a nível global, com consequências graves a nível ambiental, social, económico e político.

Constatou-se que Portugal está implicado e que ratificou o Acordo de Paris, visando mitigar a emissão de gases por efeito de estufa (GEE) e contribuir para a manutenção do aumento da temperatura a nível global abaixo dos 2° C e para o limite do aumento da temperatura a 1,5° C, no sentido de reduzir os riscos e impactos das alterações climáticas.

A Força Aérea Portuguesa, através de uma Unidade – Infraestrutura Aeronáutica da Base Aérea de Maceda, em conformidade com o Programa LIFE, fomenta a Eficiência Energética, promovendo a redução de consumos e a redução de GEE.

Foi efetuada a pesquisa e estudo sobre o Estado da Arte e identificou-se e concluiu-se que a solução mais adequada, de acordo com o que está disponível no mercado, é a implementação de Filtros Ativos permitindo a compensação de energia reativa e a filtragem de harmónicas.

3. Técnicas e tecnologias de eficiência energética

3.1. Eficiência energética

A eficiência energética é uma atividade que procura melhorar o uso das fontes de energia.

A eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia. Acompanha todo o processo de produção, distribuição e utilização de energia, podendo ser dividido em duas fases, transformação e utilização. [73]

A utilização racional de energia, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada numa atividade e aquela que é disponibilizada para a sua realização.

A utilização das energias renováveis como fonte de energia para satisfação das necessidades energéticas, quer de climatização, quer de aquecimento de águas quentes sanitárias e de piscinas, é uma das formas mais eficientes de reduzir o consumo de energias de combustíveis fósseis. A instalação de painéis térmicos na cobertura dos edifícios pode representar uma redução de 60% no consumo de energia para aquecimento de águas sanitárias.

A eficiência energética e as energias renováveis são os "dois pilares" da política energética sustentável. [16]

Foi também lançado, pelo XVIII Governo Constitucional através da Resolução do Conselho de Ministros n.º2/2011, de 12 de janeiro, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública "ECO.AP", o qual tem como objetivo alcançar um nível de eficiência energética de 30% nos organismos e serviços da Administração Pública até 2020,

sendo esta eficiência atingida sem aumento da despesa pública permitindo ao mesmo tempo o estímulo da economia no sector das empresas de serviços energéticos.

Este programa tem como objetivo permitir que o Estado reduza os consumos de energia nos serviços e organismos, a emissão de gases com efeitos de estufa e contribuir para um maior estímulo da economia através do desenvolvimento de um enquadramento legal para a celebração dos contratos de gestão de eficiência energética, contribuindo assim para a concretização dos objetivos do Programa Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER). [17]

A União Europeia assume cada vez mais a redução do consumo de energia e a eliminação do desperdício energético como uma questão determinante para a sua política energética. Em 2007, os países membros da UE assumiram um objetivo para 2020: reduzir o consumo médio anual de energia em 20%. Portugal não foge à regra e traça até metas mais ambiciosas, estabelecendo como objetivo uma redução de energia primária de 25%.

O Conselho Europeu de 20 e 21 de março de 2014 salientou a eficácia da eficiência energética na redução dos custos de energia e da dependência energética. A UE estabeleceu normas e regras mínimas em matéria de eficiência energética aplicáveis à rotulagem e à conceção ecológica dos produtos, serviços e infraestruturas. Estas medidas visam melhorar a eficiência em todas as fases da cadeia da energia, desde o aprovisionamento energético à utilização de energia por parte dos consumidores.

Com vista a cumprir os objetivos definidos pela UE e tendo em conta o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), estão em vigor vários programas de apoio à eficiência energética:

- Fundo de Eficiência Energética;
- Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica;
- Fundo de Apoio à Inovação;
- Fundos do Quadro de Referência Estratégica Nacional;
- Programas como IFRU, Casa eficiente 2020 e FEE são novos financiamentos para combater a eficiência energética.

3.2. Impacto da iluminação led no consumo de energia reativa

A iluminação representa 15 % da quantidade de eletricidade consumida na indústria e 40 % em edifícios. [18]

A tecnologia de iluminação com lâmpadas LED é uma tecnologia baseada na luminescência. A luminescência é o fenômeno de emissão, por um material, de radiação luminosa visível ou quase visível. O material pode ser um gás ou um sólido. Na iluminação com utilização de lâmpadas LED, o material é um componente eletrônico semicondutor que tem a capacidade de emitir luz visível quando atravessado por uma corrente elétrica.

A tecnologia LED representa uma melhoria em termos de eficiência energética, menor temperatura na parte frontal da lâmpada, sem emissões na gama dos Ultravioleta e com poucas emissões de Infravermelhos, apresenta robustez contra vibrações, maior durabilidade, insensível ao número de comutações e quando ligadas a emissão de luz é imediata. Por outro lado, e comparativamente por exemplo à tecnologia Fluorescente ou de Vapor de Sódio, a fonte de alimentação é por Driver e não por balastro ferromagnético ou eletrônico. Em termos de eficiência é, sem dúvida, a que apresenta uma maior eficiência Lúmen/Watt (lm/W).

A iluminação LED é uma tecnologia que utiliza muito menos potência energética (Watt) para produzir o mesmo fluxo luminoso (Lúmen). O rendimento luminoso (lm/W) tem vindo a aumentar progressivamente e, hoje em dia, é aceitável falarmos em rendimentos da ordem dos 120 lm/W.

No momento inicial, quando a lâmpada LED é ligada, dependendo do tipo de *driver*, ocorrem correntes de arranque transitórias, muito significativas, podendo representar até 250 vezes a corrente nominal durante um período de tempo curto (<1 ms). Esta sobrecorrente no momento de ligação provoca flutuação forte na tensão nas cargas do mesmo circuito, o que poderá prejudicar o correto funcionamento de certos tipos de cargas (computadores, controladores de temperatura, etc.). [18]

A qualidade da iluminação prende-se com a estabilidade da luz e com a continuidade de serviço.

As luminárias LED, assim como, as fluorescentes tubulares com balastros eletrónicos, são caracterizadas como cargas não-lineares, que geram harmónicos de corrente. Quando um número de tais luminárias é alimentado entre fase e neutro por um circuito trifásico, a terceira harmónica (e múltiplos desta componente harmónica) em cada fase estão a ser adicionados em conjunto no neutro, o que pode provocar sobrecarga no condutor de neutro.

A geração de terceira harmónica pela iluminação LED, com potências entre 10 e 200 W e com *driver*, situa-se entre 10 a 20 %. [18]

Para luminárias LED de iluminação pública entre 30 W e 200 W o fator de potência está geralmente na gama entre 92% a 98%. As luminárias LED são cargas não lineares que geram componentes harmónicas nas redes BT. [19]

Na infraestrutura da Base Aérea a Iluminação Pública a vapor de sódio de alta pressão foi substituída por luminárias LED. A potência das novas luminárias instaladas é de 50 W, com alimentação de 230 V, com fator de potência de 0,95 de acordo com a ficha técnica das luminárias. Foram instaladas luminárias LED deste tipo nos PT1, PT6 e PT13.

Se a instalação já tinha tendencialmente valores de reativa capacitiva, a qual é paga no período de vazio, então a instalação de iluminação LED irá agravar ainda mais esse fator, que também será prejudicial à temática das componentes harmónicas que poderão perturbar o bom funcionamento da instalação, sempre que entrar em serviço.

O equipamento eletrónico que constitui a luminária com tecnologia LED origina um avanço da corrente relativamente à tensão, o que faz com que o equipamento tenha comportamento como carga reativa capacitiva.

Assim, e observando os dados registados mediante análise ao PT1, antes e após a instalação da iluminação LED podemos comprovar que efetivamente a potência reativa capacitiva

aumentou – figuras 3.1 e 3.2, assim como, também se comprova que com a implementação de luminárias LED no PT1 a geração de terceira harmónica nas fases e principalmente no neutro é evidente – figura 3.5.

O aumento da taxa de distorção harmónica total, (*total harmonic distortion – THD*) é também evidente, conforme figura 3.4.

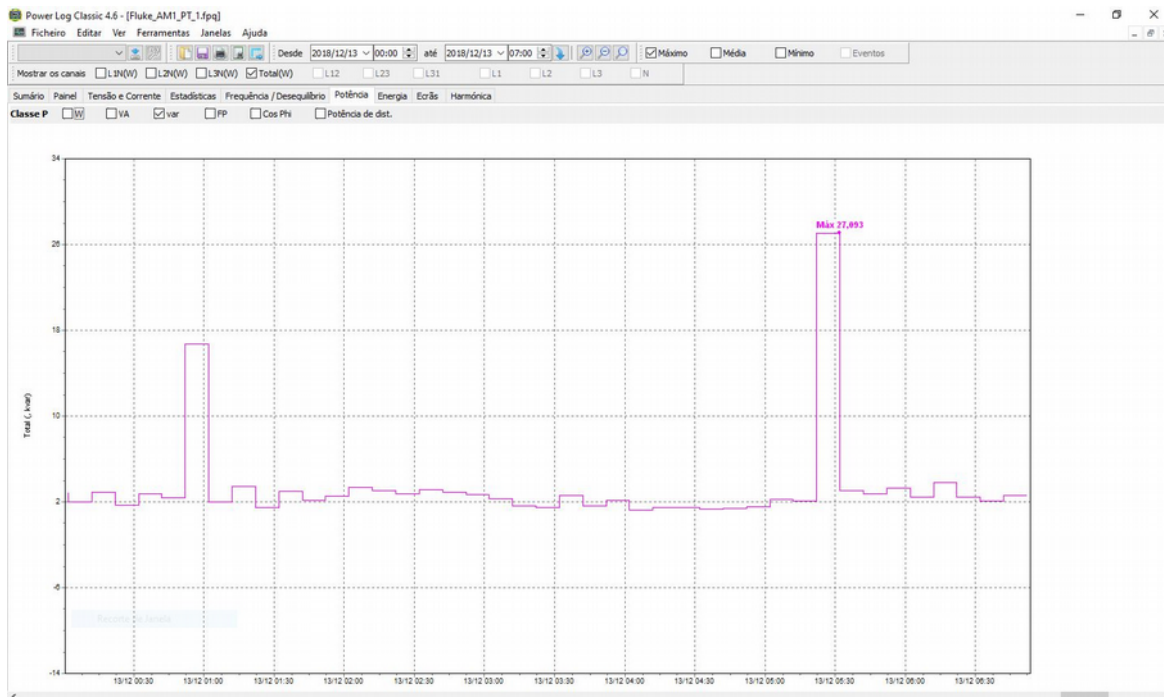


Figura 3.1 – Potência reativa capacitiva no PT1 antes da substituição da iluminação

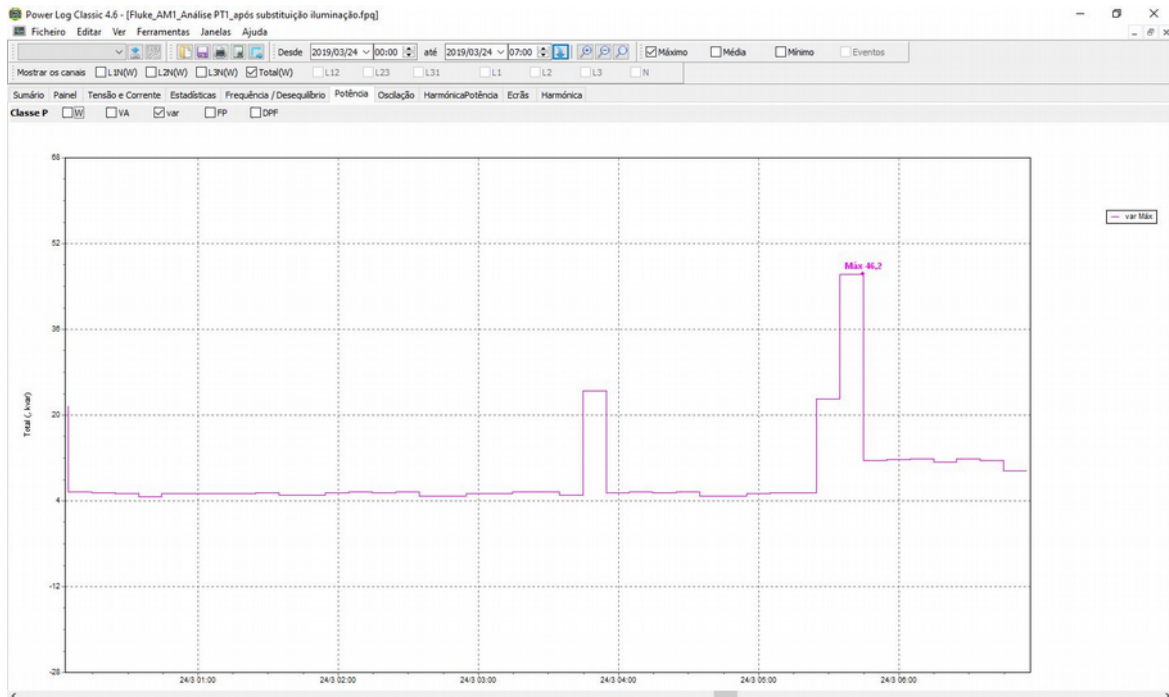


Figura 3.2 - Potência reativa capacitiva no PT1 após substituição da iluminação

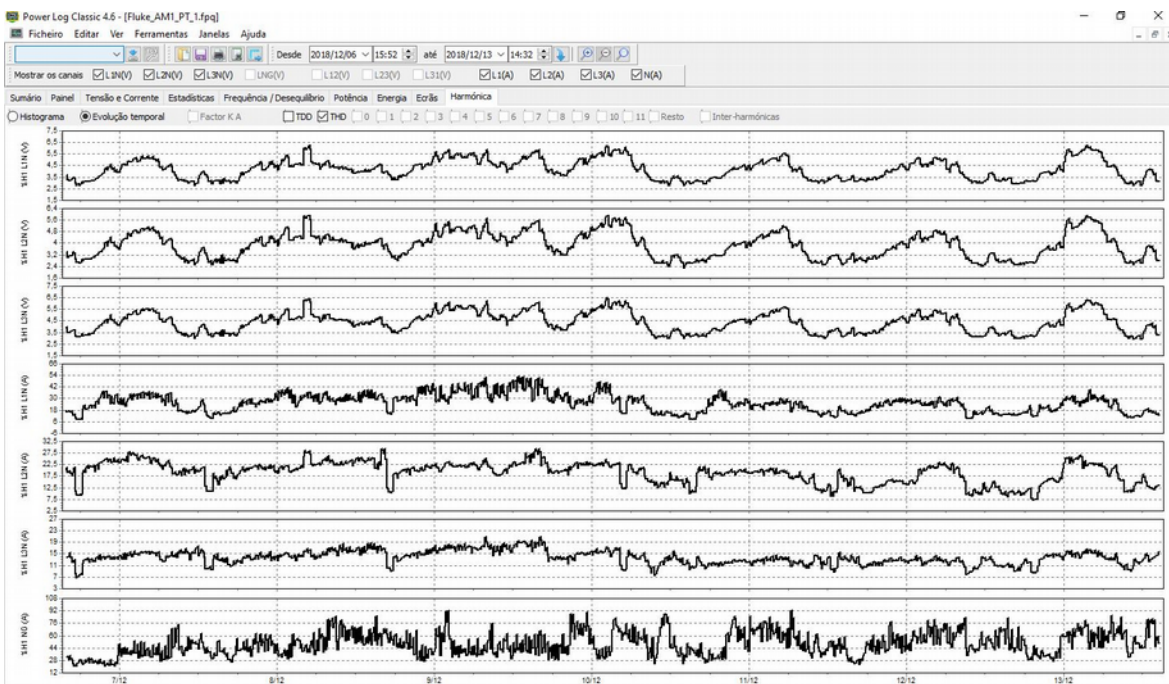


Figura 3.3 – Valores de THD no PT1 antes da instalação de luminárias LED

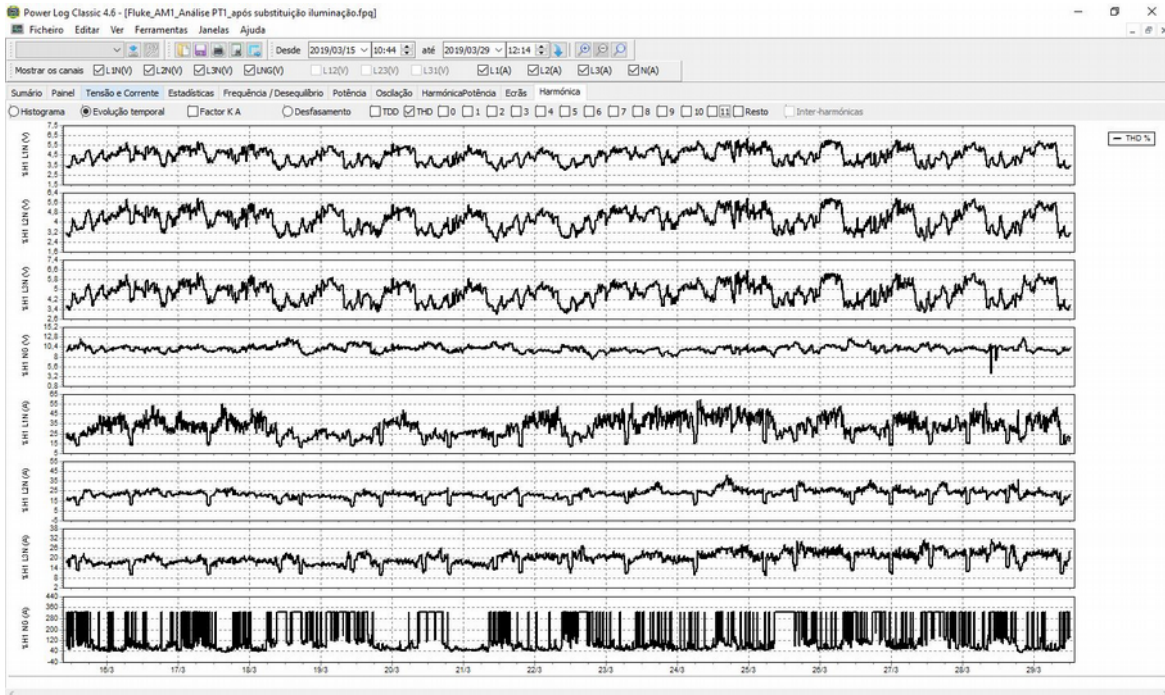


Figura 3.4 - Valores de THD no PT1 após a instalação de luminárias LED

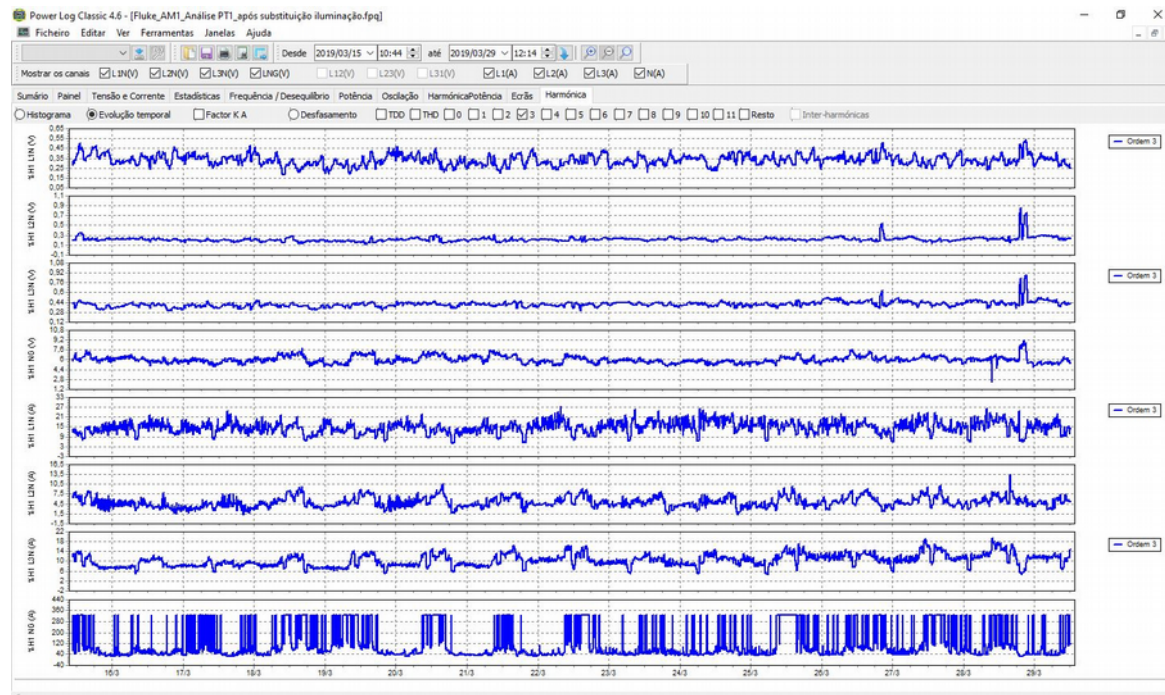


Figura 3.5 – Terceira harmônica no PT1 após instalação de luminárias LED

3.3. Redução do consumo energia reativa e mitigação das alterações climáticas em Portugal

Portugal participou em setembro de 2019 na Encontro de Cúpula sobre Ação Climática que decorreu na sede da ONU, em Nova Iorque, EUA. O Chefe do Estado, Marcelo Rebelo de Sousa, referiu que já se perdeu demasiado tempo para combater a mudança climática, pelo que “complacência e indiferença não serão mais tolerados”.

No que concerne ao consumo de energia e à mitigação das Alterações Climáticas, de acordo com o que Marcelo Rebelo de Sousa proferiu, Portugal está de facto muito empenhado em colaborar para que sejamos um País que contribua para esta mitigação.

Rebelo de Sousa disse que Portugal foi o primeiro país a assumir o compromisso de ser neutro em carbono em 2050, adotando uma estratégia de longo prazo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

O presidente afirmou que “a próxima década será crítica” e, por isso, o país reforçou as ambições para 2030. Portugal pretende reduzir as emissões de CO₂ em 50%, atingir um objetivo de eficiência energética de 35% e produzir 80% da eletricidade a partir de fontes renováveis, eliminando totalmente o uso de carvão.

Segundo ele, Portugal vai cumprir esse objetivo usando “sistemas de energia sem emissões de carbono, mobilidade urbana, sequestro de carbono usando florestas e outros usos da terra, incluindo soluções baseadas na natureza”.

Marcelo Rebelo de Sousa lembrou que “Portugal já produz 54% de energia a partir de fontes renováveis, já iniciou a eliminação progressiva dos subsídios aos combustíveis fósseis e está a restaurar ecossistemas marinhos degradados.” [20]

Para conseguirmos reduzir consumos energéticos é necessário sabermos, antes de mais, quanto se consome.

Para isso é preciso realizar auditorias energéticas tendo em vista uma análise da instalação para verificação quer de consumos, quer de parâmetros ao nível da qualidade de serviço, nomeadamente, taxa de distorção harmónica, cavas, interrupções ou sobretensões e *flicker*.

Ao nível do consumo de energia, temos valores quer de energia ativa, quer de energia reativa. Esta pode ser indutiva ou capacitiva.

O valor de energia reativa é um fator penalizante na fatura de eletricidade, o qual pode ser reduzido, ou mesmo, eliminado mediante a utilização e instalação de equipamento apropriado disponível no mercado.

Além de reduzir o valor final da fatura de eletricidade quando se elimina a parcela de energia reativa, também estamos a libertar potência aos transformadores, permitindo rentabilizar a instalação e a poupança na aquisição de novo equipamento – transformador.

Por outro lado, também vamos libertar as redes de perdas desnecessárias que circulam quando existe consumo ou injeção de energia nas redes.

Quando existe também poluição harmónica, é necessário instalar equipamento específico para a eliminar, fazendo com que a instalação possa funcionar sem perturbações que podem provocar disparos e interrupções a nível de produção com os consequentes prejuízos económicos que daí advêm.

3.4. Correção fator potência

A maioria das cargas industriais como motores, transformadores potência, sistemas de iluminação fluorescente e outros, absorvem potência ativa e, usualmente também, potência reativa do tipo indutivo. [21]

A potência ativa é o valor médio da potência instantânea e corresponde, por conseguinte, à potência que é efetivamente transferida. A potência reativa Q é o valor máximo da componente da potência que oscila entre o gerador e a carga, cujo valor médio é nulo,

resultante da variação da energia magnética e elétrica armazenada nos elementos indutivos ou capacitivos, respectivamente, da impedância de carga.

Nas funções sinusoidais estas potências obtêm-se a partir das seguintes equações [22]

$$P = V.I.\cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = V.I.\sin \varphi \quad (2)$$

A potência reativa é uma potência puramente flutuante, absorvida, momentaneamente, pelas cargas durante uma parte do ciclo e que é devolvida à rede ao longo do mesmo ciclo, de modo que não significa nem um consumo líquido, nem trabalho útil. Isto implica um consumo extra de corrente (corrente reativa) e, portanto, uma corrente total maior do que a estritamente necessária para obter trabalho útil, produzindo perdas desnecessárias na instalação e obrigando a uma maior dimensionamento dos geradores e das linhas de transporte.

Assim compreende-se que o consumo de energia reativa leva a um sobredimensionamento de sistemas de produção e de transporte. Como consequência, isto gera um duplo interesse na compensação da potência reativa: por um lado, o próprio cliente preocupa-se com a compensação da potência reativa porque com isto irá reduzir a dimensão dos transformadores de potência e das redes de distribuição. Por outro lado, a *Utility* tem também interesse em eliminar a reativa pelos mesmos motivos e, por isso, estabelece sobretaxas sobre a potência contratada e sobre a energia em função do fator de potência acumulado no final do período de faturação.

O consumo de reativa pode ser evitado se se efetuar uma compensação da potência reativa indutiva mediante a instalação de condensadores, os quais fornecem uma corrente reativa de sinal contrário à que consomem as cargas indutivas. Esta compensação é denominada, compensação do fator de potência ou correção do $\cos \varphi$. O objetivo é alcançar um $\cos \varphi$ total, da carga mais os condensadores, o mais próximo possível da unidade, com o qual se

obtêm os máximos benefícios em termos de redução de perdas e bonificação da energia faturada por parte da *Utility*. [21]

Admitindo um argumento ϕ para a tensão, a tensão e a corrente escrevem-se, usando a notação simbólica, da seguinte forma¹:

$$\mathbf{V} = |V|e^{j\theta} \quad (3)$$

$$\mathbf{I} = |I|e^{j\beta} \quad (4)$$

A potência complexa S é definida pelo produto do fasor tensão pelo conjugado do fasor corrente:

$$S = \mathbf{V}\mathbf{I}^* \quad (5)$$

Substituindo as equações (1) e (2) em (3) obtém-se:

$$S = V e^{j\theta} I e^{-j\beta} = VI e^{j(\theta-\beta)} = VI e^{j\varphi} = VI \cos \varphi + jVI \sin \varphi \quad (6)$$

Atendendo à definição de potência ativa e reativa, obtém-se a potência aparente:

$$S = P + jQ \quad (7)$$

Em que:

$$P = VI \cos \varphi \quad (8)$$

$$Q = VI \sin \varphi \quad (9)$$

A potência complexa S é, assim, uma grandeza complexa cuja parte real é a potência ativa P e cuja parte imaginária é a potência reativa Q . [22]

¹ Os fasores (grandezas complexas) são representados em tipo negrito; os respectivos módulos (bem como outras grandezas reais), em tipo normal.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = VI \quad (10)$$

O fator de potência λ é a razão entre potência ativa P (kW) e a potência aparente S (kVA)

$$\lambda = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}} \quad (11)$$

O fator de potência não deve ser confundido com o defasamento ($\cos \varphi$), relativo apenas à componente fundamental.

Assim, como a potência aparente é calculada a partir de valores *rms.*, o fator de potência integra distorção em tensão e corrente.

Quando a tensão é sinusoidal ou virtualmente sinusoidal ($THD_u \sim 0$), pode-se dizer que a potência ativa é apenas função da corrente fundamental. Então [21]:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi}{U_1 I_{rms}} \quad (12)$$

Conseqüentemente:

$$P = P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi \quad (13)$$

Como:

$$\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (14)$$

Então:

$$\lambda = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (15)$$

No entanto, e quando se verifica a presença de distorção harmónica na instalação, a solução poderá passar pela instalação de Filtros Ativos, os quais permitem absorver os harmónicos da instalação, além de poderem fazer também uma compensação da potência reativa.

3.5. Metodologia de escalonamento

A Infraestrutura da Base Aérea apresenta consumos equilibrados ao longo da semana, sendo o período de maior consumo observado durante o dia.

Os transformadores de potência de cada PT estão de momento e, na maioria dos PTs, sobredimensionados.

De acordo com os valores registados mediante as análises efetuadas à subestação e aos PTs conclui-se que essencialmente nos PTs n.ºs 2, 6, 9, 11 e a subestação, os transformadores estão a trabalhar num regime de carga muito baixo, no PT 6 e 9 praticamente em vazio o que representam perdas ativas elevadas.

O ideal seria ter transformadores adequados ao regime de carga, pelo que seria fundamental a substituição dos transformadores instalados por novos transformadores de potência adequada. Claro que o investimento é avultado, pelo que há que estudar soluções economicamente compatíveis.

Relativamente aos cabos de MT, estando os transformadores quase em vazio, com regime de carga muito baixa e, sendo o consumo durante a noite, ou seja, no período de vazio (vazio normal e super vazio) ainda mais baixo, faz com que os cabos se comportem como uma carga reativa capacitiva, o que acarreta custos elevados no consumo desta forma de energia.

Poderia ser também interessante recorrer a produção fotovoltaica (FV) já que o espaço existe para colocação de painéis e a exposição solar também é boa. Principalmente para os PTs com consumos muito baixos, esta poderia ser uma solução a estudar e a implementar.

3.6. Qualidade de serviço

O Sistema Elétrico de Energia (SEE) é composto pela produção, o transporte, a distribuição e o consumo. É um sistema extremamente complexo, o qual funciona continuamente e do qual depende a sociedade moderna, cada vez mais exigente em termos de consumo e de qualidade de serviço deste mesmo sistema.

A energia elétrica, produzida nos centros produtores, é transportada até aos consumidores através das redes de transporte, interligadas à escala continental, as quais estão associadas às redes de distribuição.

Hoje em dia é essencial que, quer a segurança do abastecimento de energia elétrica, quer a sua qualidade estejam garantidas, pelo que se exigem condições de funcionamento das redes com um grau de fiabilidade muito elevado.

A produção de energia elétrica ocorre essencialmente em centrais elétricas de grande porte, as quais estão geralmente afastadas dos grandes centros de consumo, situados tipicamente em zonas urbanas ou industriais.

A rede de transporte é constituída por linhas em muito alta tensão (MAT), as auto estradas da energia, as quais transportam a energia produzida nessas centrais. A rede de distribuição é composta por linhas em alta, média e baixa tensão (AT, MT ou BT). Através de transformadores, a energia transita da rede de transporte para a rede de distribuição e esta conduz a energia até aos consumidores. A produção de natureza descentralizada, como por exemplo, a mini-hídrica, eólica ou cogeração, é injetada fundamentalmente nas redes de distribuição.

Assim, facilmente se entende que qualquer perturbação que ocorra na rede de distribuição pode ser extremamente nefasto para o bom funcionamento de uma instalação. [22]

O nível da qualidade da energia elétrica fornecida sempre foi objeto de preocupação, assumindo nos últimos anos uma elevada importância face à crescente utilização de equipamentos altamente sensíveis à qualidade da tensão de alimentação e/ou equipamentos

geradores de perturbações, causadores de excessivas interrupções, interferências, sobreaquecimentos, erros de medição, etc., nos processos industriais, terciário e até em instalações domésticas.

Uma das propriedades do produto eletricidade é que algumas de suas características dependem não só do produtor/distribuidor de eletricidade, mas também dos fabricantes de equipamento e dos clientes.

Durante muito tempo a grande maioria dos equipamentos ligados às redes de energia elétrica consistiam em cargas praticamente lineares. Por essa razão, e sendo a tensão de alimentação sinusoidal, a corrente era também sinusoidal e da mesma frequência.

Idealmente a tensão de alimentação de um sistema elétrico deverá ser perfeitamente sinusoidal, equilibrada, e com amplitude e frequência constantes. Contudo, na prática as perturbações inevitáveis de operação do sistema elétrico bem como a própria operação das instalações do consumidor afetam estes parâmetros, provocando desvios das condições ideais.

Com o desenvolvimento da eletrônica 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 e, dessa forma, “poluindo” a rede elétrica com componentes harmônicas.

A presença de componentes harmônicas nos sistemas elétricos resulta num aumento das perdas relacionadas com o transporte, distribuição e consumo de energia elétrica, em problemas de interferências com sistemas de comunicação e na degradação do funcionamento da maior parte dos equipamentos ligados à rede, sobretudo daqueles (cada vez em maior número) que são mais sensíveis por incluírem sistemas de controlo eletrónico que operam com níveis de energia mais baixos.

O uso crescente de microprocessadores numa grande diversidade de equipamentos, tem aumentado significativamente a sensibilidade desses equipamentos aos fenómenos transitórios intrínsecos no quotidiano da operação dos sistemas elétricos. Tal facto tem provocado, em muitos casos, um expressivo crescimento do número de cavas de tensão, interrupções, sobretensões transitórias, entre outros efeitos nos processos industriais sensíveis, questão esta que vem assumindo uma importância estratégica para os consumidores e empresas de energia elétrica face aos elevados custos associados a tais efeitos.

Tal particularidade do fornecimento de energia elétrica confere à questão “qualidade da energia elétrica” uma característica bastante específica, onde o processo de produção, transporte, distribuição e também consumo do “produto” energia elétrica ocorrem, concomitantemente, num sistema físico cada vez mais complexo, com cada fase do processo podendo afetar e ser afetada pelas demais. Como exemplo, pode-se citar o caso dos sistemas de retificação, onde a corrente distorcida solicitada por estes pode provocar distorções de tensão capazes de perturbar os processos do próprio consumidor ou dos demais.

Dentro deste contexto, torna-se patente a co-responsabilidade dos consumidores para se obterem níveis adequados de qualidade de energia elétrica.

Falar em Qualidade da Energia (*Power Quality*) é o mesmo que falar em Qualidade da Tensão (*Voltage Quality*) e verifica-se que este conceito se encontra intimamente ligado com a Qualidade de Serviço.

Podemos dizer que um fornecimento de energia elétrica de boa qualidade é aquele que garante, a custos satisfatórios, o funcionamento adequado, seguro e confiável de processos e equipamentos do consumidor e do sistema elétrico abastecedor, sem afetar o meio ambiente e o bem-estar das pessoas. Implica assegurar:

- A continuidade de Serviço (não deve haver interrupções).
- A forma de onda da tensão e corrente em qualquer ponto da rede elétrica deve ser sinusoidal.

- Os valores de amplitude e frequência da tensão devem manter-se dentro de limites pré-definidos.
- O desfasamento entre a tensão e a corrente deve ser aceitável.



Figura 3.6 – Qualidade de serviço – continuidade de serviço no setor elétrico [23]

O facto das instalações elétricas não estarem em condições de fazer face aos problemas de qualidade de energia não se deve necessariamente a erros na conceção inicial, mas sim devido a alterações nos tipos de equipamentos entretanto usados pelas empresas:

- Equipamentos que “poluem” a rede elétrica...
e/ou
- Equipamentos mais sensíveis a perturbações (por incluírem sistemas de controlo baseados em microeletrónica).

O Decreto-Lei n.º 182/95, de 27 de julho, estabeleceu as bases de organização do Sistema Elétrico Nacional e, determina, no seu artigo 63.º, a publicação do Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS) relativo às atividades vinculadas de transporte e distribuição de energia elétrica. A necessidade de publicação deste Regulamento visa a promoção de níveis de qualidade de serviço mais elevados no setor elétrico, tal facto é considerado uma condição essencial, não apenas para o bem-estar e satisfação das necessidades das populações, mas também para o desenvolvimento da atividade económica, em condições de operação próximas das existentes em outros países de forma a garantir às empresas já

instaladas em Portugal e a potenciais empresas a serem instaladas no nosso país que a sua produtividade e competitividade não sejam negativamente afetadas por uma qualidade do serviço elétrico inferior.

Desta forma e para dar execução ao estabelecido no Decreto-Lei n.º 182/95 é publicado o Despacho n.º 12917-A/2000 de 23 de junho de 2000, constituindo deste modo a publicação da primeira versão do RQS, a sua preparação e aprovação foi da competência da Direcção-Geral da Energia.

Uma regulação adequada da Qualidade de Serviço é um dos pontos-chave para o sucesso do funcionamento em ambiente de mercado do sector elétrico. Na atividade de distribuição de energia elétrica a Qualidade de Serviço é analisada segundo três aspetos, dois de natureza técnica e um terceiro de natureza comercial.

- Continuidade de serviço: conceito ligado à frequência e duração das interrupções de alimentação de energia elétrica. Na literatura e normalização internacional existem vários indicadores com objetivo de caracterizar o desempenho dos sistemas nesta vertente, permitindo caracterizar a continuidade de serviço quer do ponto de vista do sistema quer do ponto de vista dos clientes.
- Qualidade da onda de tensão: conceito ligado às perturbações na onda de tensão, envolvendo a amplitude de tensão da rede, a distorção provocada por harmónicos, cavas de tensão, micro cortes, etc. Este aspeto deve ser objeto de regulação no âmbito das questões de compatibilidade eletromagnética e da qualidade do produto eletricidade.
- Qualidade comercial: conceito ligado à necessidade de garantir a defesa do consumidor na sua relação com os fornecedores de energia elétrica, incluindo aspetos técnicos e de atendimento.

Como referido, falar em Qualidade da Energia é o mesmo que falar em Qualidade da Tensão, verifica-se que este conceito se encontra intimamente ligado com a Qualidade de Serviço.

Enquanto um consumidor necessita de uma tensão que permaneça sensivelmente constante à volta do valor da tensão nominal dos aparelhos de utilização e cujas variações rápidas ou lentas se limitem a pequenas desta, às entidades exploradoras das redes apenas interessa que a tensão se mantenha entre um limite máximo e um limite mínimo cuja diferença constitui uma variação muito maior do que a consentida pelos recetores ao nível da utilização de energia. Com efeito, o limite superior é imposto pelo comportamento dielétrico dos isolantes, pelo risco de reacendimento do arco nos disjuntores e pelo sobreaquecimento de determinados elementos derivados das redes, tais como condensadores e bobinas. O limite inferior é imposto pelo poder de corte dos disjuntores e pela sensibilidade de certos aparelhos.

Verifica-se atualmente, por parte das empresas de distribuição de eletricidade, um enorme esforço em fornecer o produto “energia elétrica” procurando assegurar a referida Tensão de Qualidade, para o efeito, procura-se que a tensão fornecida seja a que observa as normas.

A empresa distribuidora de energia deve assegurar certos requisitos de qualidade para a energia elétrica fornecida, para tal deve cumprir o que está estabelecido pela norma NP EN 50160 que define as “Características da Tensão Fornecida pelas Redes Públicas de Distribuição”. Por outro lado, os equipamentos do cliente devem exibir determinados níveis de compatibilidade, estes devem cumprir o que está estabelecido pela norma CEI 61 000 que define os limites para as características de compatibilidade dos equipamentos em carga. Esta é a normalização aplicável mais importante na Europa no que respeita à relação consumidor/fornecedor de energia elétrica.

O método que permite avaliar as características reais da tensão em um ponto dado na rede e compará-las aos limites predefinidos é baseado num cálculo estatístico sobre um dado período de medição. Por exemplo, para a tensão harmónica o período de medição é uma semana e 95% dos valores eficazes calculados sobre períodos sucessivos de 10 minutos não devem exceder os limites especificados. [24]

3.6.1 Norma NP EN 50160

A qualidade de Onda da Tensão é tratada na norma portuguesa NP EN 50160 desde 1995. Esta norma, transposta da norma europeia EN 50160 - Características da Tensão Fornecida pelas Redes Públicas de Distribuição, publicada pelo Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CÉNÉLEC), define no ponto de fornecimento ao consumidor, chamado ponto de acoplamento comum (PAC) (à rede pública), os limites de variação das características físicas da onda de tensão de alimentação da rede de distribuição pública em BT e MT, em condições normais de exploração.

O âmbito desta norma não é a compatibilidade eletromagnética, mas sim a definição de um produto, as características da tensão, especificando os seus valores máximos ou variações que, sob condições normais de exploração, os consumidores esperarão encontrar em qualquer ponto da rede. [24]

3.6.2. Norma CEI/IEC 61000

A norma CEI/IEC 61000 define os limites para as características de compatibilidade dos equipamentos de carga. Esta série de normas (CEI/IEC 61000) diz respeito à compatibilidade eletromagnética.

De um modo geral a compatibilidade eletromagnética procura assegurar que:

- A emissão individual de cada fonte de perturbação seja tal que a emissão combinada de todas as fontes não exceda os níveis de perturbação previstos no ambiente em que a instalação está inserida.
- O nível de imunidade dos equipamentos permita um nível de desempenho apropriado ao nível de perturbações definidas segundo três classes de ambiente de acordo com a norma CEI 61000-2-4. É de referir que a norma CEI 61000-2-4 estabelece os níveis de compatibilidade para redes industriais.

Dos ambientes eletromagnéticos possíveis são definidas três classes com exigências de compatibilidade diferentes.

A infraestrutura aeronáutica em causa enquadra-se na Classe 2, uma vez que:

- Classe 2: Esta classe dedica-se aos pontos de acoplamento comum (à rede pública) (PAC), VEI 161-07-15, e aos pontos de ligação interna do ambiente industrial em geral. Os níveis de compatibilidade desta classe são idênticos aos das redes públicas, pelo que os equipamentos destinados à utilização nestas redes podem ser usados nesta classe de ambiente industrial.

Para a Classe 2 o nível de compatibilidade para a distorção harmónica total é de 8%. [24]

3.6.3. Norma ANSI/IEEE 519

Tendo em conta esta norma, as empresas distribuidoras são responsáveis pela manutenção da qualidade da tensão em todos os seus sistemas. A norma estipula os limites de distorção para os diferentes níveis de tensão a observar nas redes elétricas. Para tensão nominal no PAC, $U_n \leq 69 \text{ kV}$, o limite máximo da distorção harmónica individual é de 3,0 % e o limite máximo da distorção harmónica total é de 5,0 %. [24]

3.6.4 Outros aspetos gerais

Diversos indicadores de qualidade, e respetivos níveis máximos, que caracterizam a qualidade da onda de tensão permitem o cumprimento dos níveis de CEM. Quando estabelecidos esses limites não se justifica, nem técnica, nem economicamente, procurar obter níveis de qualidade superiores, porque os equipamentos que utilizam energia elétrica devem ser imunes a esses níveis de perturbação. No caso de instalações possuidoras de equipamentos particularmente sensíveis, deve ser preocupação desse utilizador a adoção de medidas de filtragem de perturbações.

Isto significa que nas redes elétricas, segundo a norma NP EN 50160, a entidade fornecedora de energia será responsável, perante todos os seus clientes, pela qualidade da onda de tensão em todos os pontos de alimentação.

Por outro lado, os consumidores têm de respeitar os limites de emissão (impostos pela norma CEI 61000), em termos de distorção harmónica e de tremulação (*flicker*), que lhe são impostos para que haja garantia da Qualidade global da onda de tensão.

O limite de emissão de perturbações atribuído a cada cliente é calculado segundo este princípio, em função da potência contratada e do nível de tensão ao qual é feita a ligação.

Deste modo, cada cliente terá direito a uma determinada quantidade de “contaminação”, sem que o fornecedor de energia o possa obrigar a reduzir esses níveis. Da mesma forma, o cliente será obrigado a não ultrapassar os seus limites de emissão. [24]

3.6.5. Parâmetros para a avaliação da qualidade da tensão

As variações lentas da tensão (geralmente subsequentes a variações rápidas) e as variações de frequência da rede resultam da ocorrência de perturbações normais no funcionamento do sistema elétrico de energia resultando, por exemplo, de variação e ligação ou corte de cargas, reconfiguração da rede, saída intempestiva de serviço de unidades geradoras, etc.

Estas perturbações são em geral, rapidamente eliminadas pelos sistemas de proteção e controlo existentes.

No SEE existem outras perturbações que necessitam de uma avaliação mais cuidada, nomeadamente:

- a) Frequência.
- b) Valor eficaz da tensão.
- c) Cavas de tensão.
- d) Sobretensões (“*swells*”).
- e) Tremulação (“*flicker*”).

- f) Desequilíbrio do sistema trifásico de tensões.
- g) Distorção harmónica.

Neste trabalho, e dada a importância e constatação de valores observados e registados, analisa-se com maior interesse a distorção harmónica.

A eficiência energética conduz a uma melhoria da qualidade da onda e à diminuição das perdas por efeito de Joule. Portanto, é fundamental que sejam sempre aplicadas medidas de eficiência energética adequadas tendo em vista uma melhoria das instalações, com a consequente melhoria da qualidade de serviço.

3.7. Componentes harmónicas

As componentes harmónicas são a perturbação mais relevante relacionada com a forma de onda. São perturbações de baixa frequência, cujos efeitos são geralmente perceptíveis no máximo até 2500Hz.

Componentes harmónicas são tensões ou correntes sinusoidais cuja frequência corresponde a um múltiplo inteiro da frequência a que o sistema de alimentação está preparado para operar em condições normais de funcionamento (geralmente 50 ou 60 Hz), o que origina formas de onda distorcidas que podem ser decompostas num somatório da frequência fundamental e das componentes harmónicas.

Por outras palavras, toda a função periódica $Y(t)$ (de frequência f) pode decompor-se numa soma de sinusoides de frequência hxf (h inteiro), onde h é a ordem harmónica ($h \geq 1$). Y_0 é o valor da componente contínua normalmente nula (valor médio). A componente de ordem 1 é a componente fundamental.

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{k=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(2\pi h f + \varphi_n) \quad (1)$$

O seu valor eficaz é:

$$Y_{ef} = \sqrt{Y_0^2 + Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_h^2 + \dots} \quad (2)$$

Os níveis de distorção harmónica são perfeitamente descritos pelo seu espectro harmónico, onde se incluem as amplitudes e as fases de cada componente harmónica.

A Taxa Global de Distorção Harmónica (THD), como medida efetiva do valor de distorção harmónica verificada, de acordo com a CIGRÉ resulta da seguinte expressão:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{Y_h}{Y_1}\right)^2} \quad (3)$$

As componentes inter-harmónicas são as componentes sinusoidais que não têm frequências múltiplas inteiras da componente fundamental (ficam situados entre as componentes harmónicas). [24]

3.7.1. Tensão harmónica

A tensão harmónica é uma tensão sinusoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da tensão de alimentação. De acordo com a norma NP EN 50160, as tensões harmónicas podem ser avaliadas de forma individual considerando a sua amplitude relativa U_h (h representa a ordem do harmónico) em relação à tensão à frequência fundamental U_1 . As tensões harmónicas podem também ser avaliadas de forma global calculando o valor da distorção harmónica total, em inglês *Total Harmonic Distortion* (THD). Segundo a norma em análise, o valor de THD deverá ser avaliado considerando as amplitudes das tensões harmónicas desde $h = 2$ até $h = 40$ (o valor 40 é meramente convencional).

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2} \quad (4)$$

Os níveis de componentes harmônicas geralmente variam de acordo com o método de funcionamento do aparelho, a hora do dia, e a estação (climatização, ou seja, aquecimento e ar condicionado).

Os transformadores ou as cargas polarizadas (ex. retificadores de meia onda), assim como os fornos de arco, geram também um grande número de componentes harmônicas de ordem ímpar. Geralmente as fontes de componentes harmônicas de ordem ímpar encontram-se profundamente disseminadas. [24]

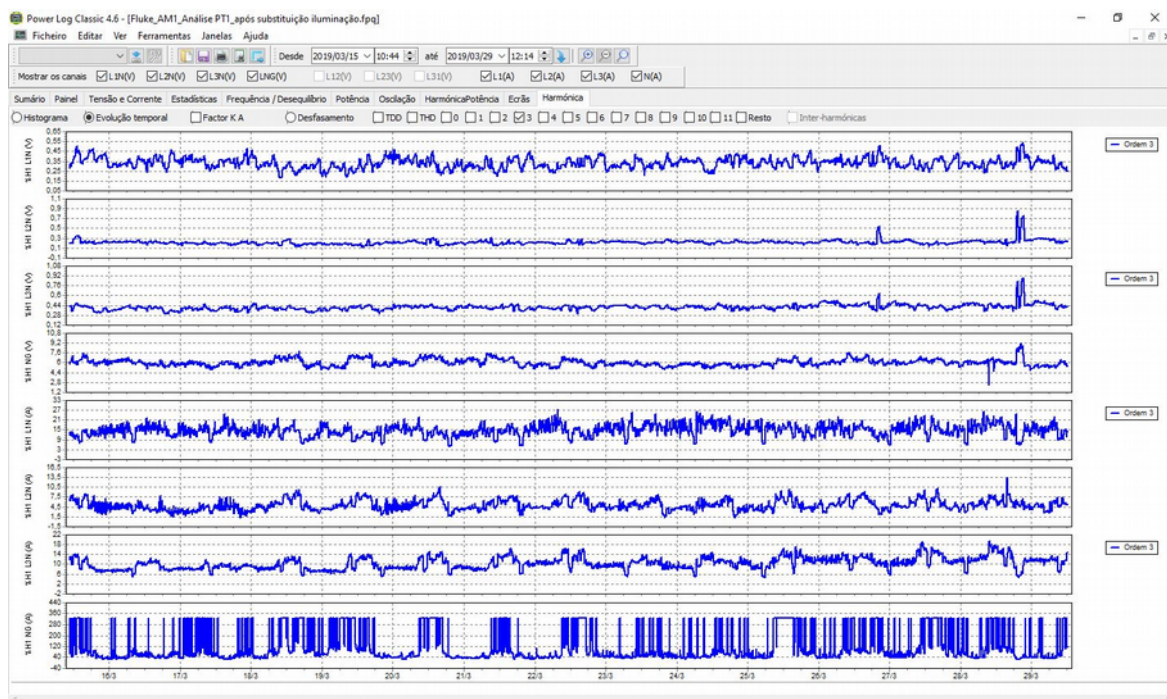


Figura 3.7 – Terceira harmônica no PT1 após substituição da iluminação

Como qualquer outro equipamento, as luminárias LED devem cumprir com várias diretivas. A norma IEC 61000-3-2 define limites para componentes harmônicas. O equipamento de iluminação está enquadrado na Classe C, de acordo com esta norma, assim como os *dimmers*.

Para equipamento de iluminação com potência ativa de entrada superior a 25 W, a corrente harmónica não deve exceder os limites definidos pela norma IEC 61000-3-2 representados na tabela seguinte. [19]

Tabela 3.1 – Limites corrente harmónica [19]

Ordem harmónica (n)	Máxima corrente harmónica como percentagem da frequência fundamental (%)
2	2
3	30
5	10
7	7
9	5
11 até 39, apenas componentes harmónicas ímpares	3

Pode também ocorrer um aumento das componentes harmónicas num circuito elétrico se uma quantidade significativa de luminárias LED estiverem presentes. Neste caso uma sobrecarga harmónica pode ocorrer no barramento, no transformador auxiliar e no condutor de neutro. Por este motivo, deve ser considerada a instalação de filtros ativos para mitigar o problema. [19]

3.7.2. Indicadores e padrões de qualidade

Segundo a NP EN 50160 as tensões harmónicas para a BT e MT devem apresentar uma distorção harmónica total da tensão de alimentação, menor ou igual que 8% ($THD \leq 8\%$; incluindo componentes harmónicas até à ordem 40). As componentes harmónicas individuais em 95% dos valores eficazes médios de cada tensão harmónica, para cada período de uma semana, medidos em intervalos de 10 minutos, não devem ultrapassar os valores indicados na tabela 3.2. Aí estão indicados os valores (limite) das tensões harmónicas individuais nos pontos de entrega até à ordem 25, expressas em percentagem da tensão nominal U_n .

Tabela 3.2 – Limites para as tensões harmónicas individuais, expressas em % da tensão nominal, de acordo com a norma NP EN 50160 [25]

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem h	Tensão relativa %	Ordem h	Tensão relativa %	Ordem h	Tensão relativa %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 - 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Nota: os valores correspondentes aos harmónicos de ordem superior a 25, por serem geralmente baixos e muito imprevisíveis (devido aos efeitos de ressonância), não são indicados nesta tabela.

A norma NP EN 50160 não define níveis de compatibilidade para tensões harmónicas de ordem superior a 25, contudo, podem ser usados os propostos pela norma CEI 61000-2-2:2002.

É de notar que devido à eventual circulação das componentes harmónicas de corrente homopolar de 3ª ordem (componentes harmónicas múltiplas de 3), que são as mais preocupantes do ponto de vista dos cabos eléctricos trifásicos de BT, verifica-se um acréscimo das perdas no condutor de retorno (neutro), isto porque as correntes não se anulam entre si. Estas correntes harmónicas somam-se no neutro podendo, em certos casos, atingir valores elevados colocando o condutor neutro em sobrecarga. Daí as componentes harmónicas múltiplas de 3ª ordem terem uma tensão relativa normalizada mais restritiva. [24]

3.7.3. Principais fontes de componentes harmónicas

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

As componentes harmónicas provêm principalmente das cargas não-lineares. Estas cargas têm como característica absorver uma corrente que não tem a mesma forma que a tensão de alimentação.

A corrente rica em componentes harmónicas tem o seu espectro dependente da natureza da carga. Estas correntes harmónicas circulam através das impedâncias da rede, criam tensões harmónicas que podem perturbar o funcionamento das instalações de outros utilizadores ligados ao mesmo sistema.

A impedância da fonte às diferentes frequências harmónicas tem um papel fundamental na severidade da distorção da tensão (limitando a distorção da tensão).

As injeções de correntes harmónicas devidas a cargas não lineares de clientes ligados à rede originam quedas de tensão harmónicas em impedâncias da rede. Devido às variações no tempo das correntes harmónicas injetadas, ocorrem variações no tempo das tensões harmónicas nos pontos de ligação com outros clientes.

Existem aparelhos típicos que causam perturbações nas redes elétricas de utilização, entre outros podemos referir:

- Retificadores.
- Fontes comutadas.
- Variadores de velocidade para motores elétricos.
- Cicloconvertidores.
- Variadores de luminosidade (*dimmers*) e aquecimento.
- Fornos a arco.
- Fornos de indução.

- Equipamentos elétricos de soldadura.
- Sistemas de iluminação com lâmpadas de descarga.
- Eletrónica de consumo (computadores, televisores, etc.)

As cargas podem ser distinguidas de acordo com o seu domínio (aplicação) industrial (normalmente de elevada potência) ou doméstico.

Das cargas industriais, destacam-se:

- Equipamentos de eletrónica de potência. Como variadores de velocidade, retificadores eletrónicos (diodos e/ou tirístores), onduladores, etc.
- Cargas que utilizam o arco elétrico, tipo fornos de arco, máquinas de soldar, iluminação (lâmpadas de descarga, ex. fluorescentes, vapor de mercúrio e vapor de sódio).
- Os arranques de motores efetuados por aparelhos eletrónicos e a ligação/saturação de transformadores de potência são também geradores de harmónicos temporários.

É de referir que, por causa das múltiplas vantagens (flexibilidade de funcionamento, excelente rendimento energético, elevados desempenhos, etc.), a utilização de equipamentos à base de eletrónica de potência tem-se generalizado. [24]

3.7.4. Efeitos das perturbações sobre as cargas e processos

De uma maneira geral a maior parte dos equipamentos do SEE não são imunes às perturbações, especialmente no que se refere à poluição harmónica.

Independentemente do tipo de perturbação, os efeitos podem ser classificados de diferentes maneiras, nomeadamente:

- Efeitos instantâneos: ligados a manobras intempestivas de contactores ou de órgãos de proteção, falhas ou funcionamento deficiente dos equipamentos, degradação dos equipamentos; interferências eletromagnéticas, etc.

- Efeitos de Longo Prazo: tais como sobreaquecimento (devido ao aumento de perdas), envelhecimento prematuro dos dispositivos elétricos.
- Efeitos variados: perdas de energia, envelhecimento visivelmente acelerado do equipamento devido ao exagerado aquecimento, tensão eletrodinâmica adicional causada pela perturbação, etc.
- Impacto financeiro (por ex. sobre a produtividade): é mais difícil quantificar.

A presença de componentes harmónicas tem consequências relacionadas com:

- Os valores de pico (avaria dielétrica)
- Os valores eficazes (aquecimento suplementar)
- Com o espectro da frequência (vibração; fadiga mecânica e interferência eletromagnética).

Os efeitos têm sempre um impacto económico resultando dos custos adicionais ligados a:

- Uma redução do rendimento energético da instalação (perdas de energia).
- Um sobredimensionamento dos equipamentos.
- Uma perda de produtividade (envelhecimento acelerado dos equipamentos, paragens intempestivas etc.).

Os efeitos da poluição harmónica revelam-se quer ao nível das redes de distribuição de energia, quer ao nível do funcionamento dos diversos equipamentos dispersos pelo sistema.

Síntese dos principais efeitos das componentes harmónicas para cada equipamento:

Tabela 3.3 – Principais efeitos das componentes harmónicas para cada equipamento [24]

EQUIPAMENTOS	EFEITOS
Linhas e Cabos	Perdas dieléctricas e óhmicas suplementares (particularmente no neutro no caso da presença de componentes harmónicas de 3ª ordem e seus múltiplos)
Máquinas eléctricas Rotativas	- Aquecimentos suplementares, vibrações, binários pulsantes ou ruído - Impossibilidade de utilização à plena carga - Redução da vida útil
Transformadores	- Aumento das perdas (aquecimento), saturação, ressonâncias, vibrações nos enrolamentos - Redução da vida útil
- Relés de proteção - Disjuntores - Fusíveis.	Problemas na operação (disparos intempestivos)
Condensadores	Aumento considerável na dissipação térmica dos condensadores, levando à deterioração do dieléctrico. - Sobrecargas de potência; - Sobrecargas de corrente; - Perigos de ressonância.
Iluminação	- Redução da vida útil das lâmpadas e flutuação da intensidade luminosa (<i>flicker</i> – para o caso de ocorrência de componentes sub-harmónicas).
Outros	
<ul style="list-style-type: none"> • Erros nos medidores de energia eléctrica e outros instrumentos de medição. • Interferência eletromagnética em equipamentos de comunicação. • Mau funcionamento ou falhas de operação em equipamentos electrónicos ligados à rede eléctrica, tais como computadores, controladores lógicos programáveis (<i>programmable logic controllers - PLCs</i>), sistemas de controlo comandados por microcontroladores, (equipamentos que controlam frequentemente processos de fabrico). 	

3.8. FILTRO ATIVO

O Filtro Ativo (FA) é um equipamento que consiste num conversor de potência estático, que mede as correntes harmónicas geradas por cargas não lineares. O FA gera uma corrente em oposição de fase, com regulação de frequência, da mesma amplitude que anula as correntes harmónicas da carga e, depois, obtém-se então uma corrente sinusoidal no lado da

alimentação, melhorando também o fator de potência e a compensação de correntes desequilibradas.

Neste trabalho, e como solução preconizada para a resolução dos problemas identificados, foram selecionados os Filtros Ativos da marca ICAR by ORTEA NEXT. Pretende-se resolver o problema das componentes harmónicas e da energia reativa capacitiva, pelo que se aconselha a instalação de Filtros Ativos. A utilização do Filtro Ativo da ICAR by ORTEA NEXT, ACTIVEmatic série FA40 permitirá:

- Compensação Harmónica
Até à 50ª ordem, selecionável individualmente.
- Sistema Modular Expansível
(desde 60A até 600A) permitindo baixos custos de exploração e flexibilidade.
- Fácil Instalação e Comissionamento
Interface com ecrã tátil com assistente de instalação
- Elevada Performance
Tempo de resposta < 200 µs
- Perdas Reduzidas
Devido à tecnologia de 3 níveis tipo NPC: perdas reduzidas < 15 Watt / A
- Compensação Flicker

O Filtro Ativo **ACTIVEmatic série FA40** funciona baseado na topologia do Conversor de três níveis, conhecida como topologia *Neutral Point Clamped* (NPC).

Esta topologia NPC consiste numa fonte de tensão contínua, dividida em vários níveis de tensão, neste caso três. A partir de uma tensão alimentação U_{dc} , na saída obtém-se uma tensão que pode tomar três valores:

- Tensão positiva no barramento DC,
- Tensão zero,
- Tensão negativa no barramento DC.

As principais vantagens desta topologia de 3 níveis NPC são:

- Perdas reduzidas comutação em baixas frequências do transístor,

- Valores reduzidos de *ripple* na saída.

O Filtro Ativo *ACTIVEmatic* série FA40 cumpre com as seguintes normas [26]:

- EN 61000-2-2
- EN 61000-2-4
- EN 61000-3-2
- EN 61000-3-12
- EN 61000-3-3
- IEEE STD 519-2014

3.9. CONCLUSÃO

No Capítulo 3, desenvolveu-se temas que servem de base à dissertação, temas técnicos e tecnologias disponíveis, nomeadamente, a eficiência energética e a qualidade de serviço. Estes temas são, atualmente, de vital importância para a sustentabilidade de recursos utilizados e para o bom funcionamento das instalações elétricas.

Foi possível concluir que a implementação de iluminação LED teve um impacto no valor de energia reativa capacitiva, tendo aumentado após a instalação do LED. Além disso, verificou-se também que a iluminação LED agravou a taxa de distorção harmónica, e particularmente a nível de harmónicas individuais, concluiu-se que gera terceira harmónica. Assim, a solução passará pela instalação de equipamento de Filtragem de harmónicas e compensação de energia reativa, pelo que se preconiza a instalação de Filtros Ativos.

Esta página foi deliberadamente deixada em branco

4. Trabalhos efetuados na base aérea

4.1 Caso de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Base Aérea de Maceda – Aeródromo de Manobra N.º 1 (AM1). A Infraestrutura Aeronáutica onde está sediada a Base Aérea de Maceda é constituída por uma subestação com um transformador de 860 kVA, 60/15 kV e treze Postos de Transformação (PTs), conforme esquema unifilar ilustrado pela figura 4.1.

Dos treze PTs, apenas dez estão ativos, e destes, dois deles em vazio, sem atividade - o PT 5 e praticamente sem atividade - o PT 7. As potências de cada um dos transformadores estão indicadas em tabelas que, por motivos confidenciais, não podem ser apresentadas.

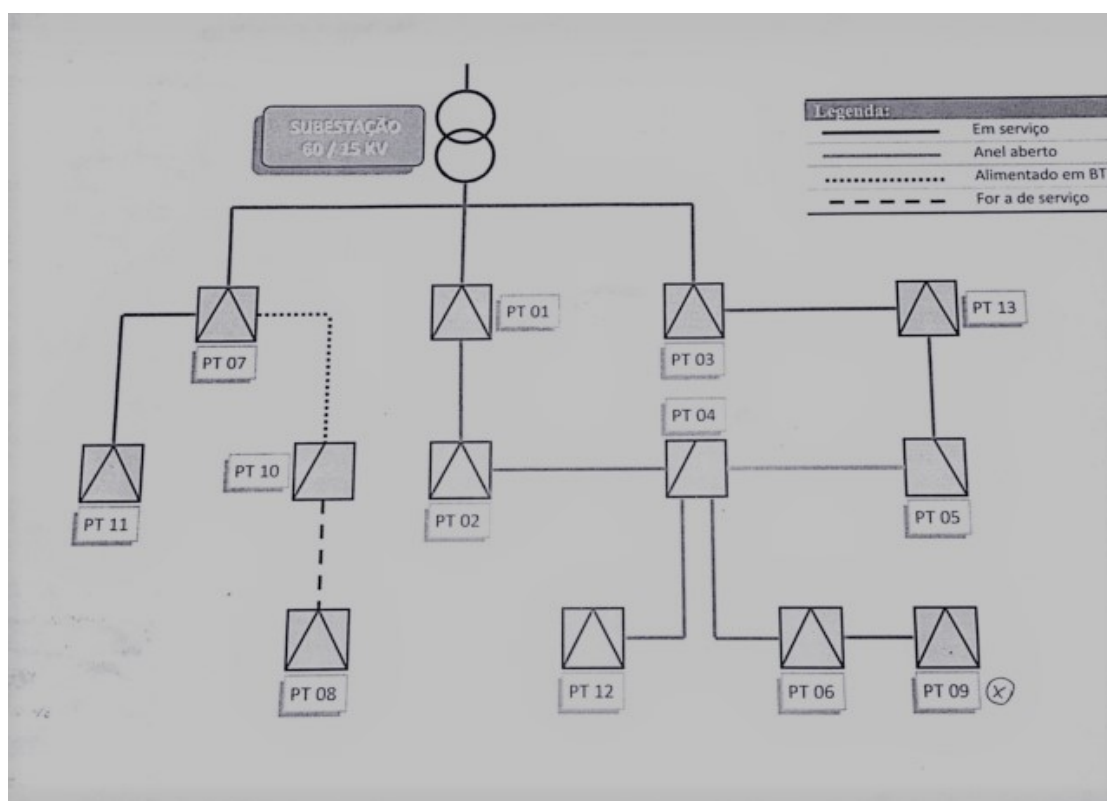


Figura 4.1 – Esquema unifilar da Base Aérea de Maceda_AM1

Os cabos instalados entre PTs e entre a subestação e PTs são os indicados na Tabela 4.1.

As instalações da Base Aérea de Maceda que cada PT alimenta, estão indicadas em tabelas que, por motivos confidenciais, não podem ser apresentadas.

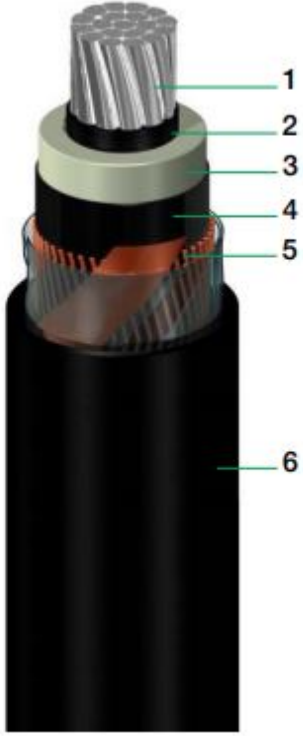
Tabela 4.1 - Cabos instalados entre PTs e entre PT e Subestação

LIGAÇÃO	TIPO CABO
Subestação- PT1	Cabo monopolar LXHIV
PT1 – PT2	Cabo monopolar LXHIV
PT2 – PT4	Cabo monopolar LXHIV
PT4 – PT6	Cabo monopolar LXHIV
PT6 – PT9	Cabo monopolar LXHIV
PT4 – PT12	Cabo tripolar BS 6622 XLPE
PT4 – PT5	Cabo de óleo migrante NKBA / Cabo tripolar BS 6622 XLPE
PT5 – PT13	Cabo de óleo migrante NKBA
PT13 – PT3	Cabo tripolar BS 6622 XLPE
PT3 – Subestação	Cabo de óleo migrante NKBA
Subestação – PT7	Cabo monopolar LXHIV
PT7 – PT11	Cabo tripolar BS 6622 XLPE

De acordo com o levantamento de dados efetuado na Infraestrutura Aeronáutica, os cabos utilizados na rede de distribuição de média tensão (MT), efetuando a interligação entre PTs e entre PTs e subestação, são essencialmente do tipo LXHIV.

O cabo monopolar do tipo LXHIV, é um condutor em Alumínio, circular, compactado da classe 2, segundo a norma NP-2363 (IEC 60228), com as características indicadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Cabo monopolar tipo LXHIV, Tensão 8,7 / 15 kV - Características Principais

	1 - Alma Condutora:	Alumínio
	2 - Semicondutor interior:	Composto semicondutor extrudido e reticulado
	3 - Isolante:	PEX – Polietileno reticulado
	4 - Semicondutor exterior:	Composto semicondutor extrudido e reticulado
	5 - Blindagem: (Écran metálico)	Fita de cobre aplicada em espiral com sobreposição
	6 - Bainha exterior isolante:	PVC

Sobre o tipo de cabos utilizados em baixa tensão (BT) para ligação dos vários quadros gerais e parciais não há informação disponível.

4.1.1. Identificação de problemas detetados

- **Energia reativa capacitiva fornecida no Vazio**

Foi identificado um problema relacionado com uma situação de elevado valor de Energia Reativa Fornecida no vazio à rede de distribuição e, conseqüentemente, foi necessário efetuar um estudo e uma análise à instalação elétrica tendo sido realizada uma auditoria energética à subestação e a cada um dos PTs em serviço.

A Base Aérea anteriormente tinha iluminação pública, exterior, a vapor de sódio de alta pressão (VSAP), a qual foi substituída por iluminação LED. Geralmente o fator de potência da iluminação a VSAP é indutivo e de aproximadamente 0,9. A iluminação LED faz com que o fator de potência seja mais elevado, próximo da unidade. Como já existia um problema de energia reativa capacitiva, com a iluminação LED, este problema agravou-se.

Além da iluminação LED necessária como iluminação pública, a qual acende durante a noite, há ainda a acrescentar a iluminação da pista, alocada aos PT11 e PT12 quando a pista da Base Aérea recebe aviões, o que obriga à iluminação da pista e ao consequente aumento da energia reativa capacitiva.

Tal como já referido anteriormente, a tecnologia LED, pelo tipo de equipamento eletrónico que a constitui, origina um avanço da corrente relativamente à tensão, o que faz com que o equipamento se comporte como uma carga reativa capacitiva.

- **Transformadores em vazio**

O transformador de potência é um aparelho estático com dois ou mais enrolamentos que, por indução eletromagnética, transforma um sistema de tensão e corrente alternada noutro sistema de tensão e corrente alternada, normalmente de valores diferentes e na mesma frequência. [27]

Na Infraestrutura Aeronáutica, dos transformadores de potência, temos dois a funcionar em vazio. Isto acarreta perdas no ferro, fazendo com que haja também um consequente aumento de consumo de energia ativa.

Os transformadores funcionando em vazio ou com cargas pequenas, pouco significativas, estão sobredimensionados para as cargas que alimentam o que se traduz num consumo de potência reativa indutiva elevada e consequente aumento de perdas ativas, que implica maior pagamento de energia ativa.

As perdas nos transformadores são de dois tipos:

- Perdas no cobre: são perdas por efeito de Joule

$$P = R \cdot I^2 \quad (5)$$

- Perdas no ferro: são perdas por histerese e correntes de Foucault

$$P_{ferro} = P_{histerese} + P_{foucault} \quad (6)$$

Onde:

$$P_{histerese} = K_h \cdot V \cdot f \cdot B_m^2 \quad (7)$$

$$P_{foucault} = K_f \cdot V \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (8)$$

Em que:

$P_{histerese}$: perdas por histerese em W, em W

$P_{foucault}$: perdas elétricas por correntes de Foucault, em W

K_h : é uma variável que depende do material do núcleo;

K_f : é uma variável que depende do material do núcleo;

V : é o volume do núcleo, em m³

f : é a frequência, em Hz

B_m : é a indução máxima, em T [28]

As perdas por efeito de Joule traduzem-se em perdas ativas que são refletidas na fatura de eletricidade.

Devido à histerese ocorre também distorção harmónica o que faz também aumentar as perdas ativas e o aumento de pagamento de energia ativa na fatura.

- **Cabos de MT em vazio**

As linhas e os cabos de energia registam perdas óhmicas suplementares dada a circulação de correntes harmónicas I_h . Além disso, devido ao efeito pelicular, a sua resistência para essas componentes varia de acordo com o harmónico

$$R_h = R \cdot \sqrt{h} \quad (9)$$

para componente de ordem h. As perdas totais são assim calculadas como [24]:

$$\sum I_h^2 R_h \quad (10)$$

Durante a noite, período de vazio, o consumo da Base Aérea é baixo. Os cabos em vazio injetam energia reativa capacitiva na rede, o que faz com que o fator de potência seja elevado.

Uma carga capacitiva injeta na rede potência reativa capacitiva, o que faz com que haja lugar a pagamento de energia reativa durante o período de vazio (vazio e super vazio). Os cabos comportam-se como uma carga capacitiva e injetam energia reativa capacitiva na rede. Durante o período fora de vazio (horas cheias e ponta) há lugar a pagamento de energia reativa indutiva, mas durante o período de vazio (vazio e super vazio) paga-se a energia reativa capacitiva.

As cargas capacitivas baseiam-se fundamentalmente nos cabos da rede de distribuição que se encontram praticamente em vazio (regime de carga baixo), estando sujeitos à tensão nominal formando uma carga capacitiva de elevado valor.

$$Q_c = \omega.C.U^2.10^{-6} \text{ (var)} \quad (11)$$

Onde:

Q_c é a potência reativa capacitiva, em var

$\omega = 2\pi f$

C é a capacidade, em μF

U é a tensão nominal (neste caso, será igual a $(15000/\sqrt{3})$, em volt)

Os cabos em regime de carga próximo do vazio à tensão nominal, formam uma carga capacitiva significativa.

Se num sistema constituído por dois condutores separados por um material dielétrico, a tensão aplicada entre os dois condutores variar no tempo, circulará entre eles uma corrente:

Fazendo C uma capacidade do sistema, expressa em Farad (F), estando i e de/dt expressos em ampere (A) e volt/segundo (V/s), respetivamente.

Um cabo constitui um sistema completo de capacidades, designadas por capacidades parciais, as quais se localizam entre:

- os vários condutores;
- cada condutor e o elemento tomado como potencial de referência (revestimento metálico ou meio exterior).

A Capacidade aparente de um condutor resulta da combinação das capacidades parciais e é dada pela seguinte relação:

- Cabo de campo radial

$$C = \frac{\epsilon}{18 \times \ln \frac{r_2}{r_1}} (\mu\text{F/km}) \quad (12)$$

Nesta fórmula:

ϵ = permissividade relativa (igualmente designada constante dielétrica ou poder indutor específico) do dielétrico que é, no caso do cabo com ecrã, o invólucro isolante.

r_1 = raio da alma condutora (mm), (compreendendo a camada condutora, eventual sobre a alma condutora);

r_2 = cabo com ecrã: raio sobre o invólucro isolante (mm), (não se entrando em conta com a camada condutora eventualmente sobre o isolante).

Como exemplo, e considerando a ligação entre o PT2 e o PT4 com cabo monopolar LXHIV de 8,7/15 kV, 240 mm² por fase, tendo 3 condutores (três fases), considerando os valores de ϵ , r_1 e r_2 indicados em tabelas do livro técnico da SOLIDAL, teremos:

Para cabo LXHIV 8,7/15 kV de 240 mm², o diâmetro da alma condutora máximo (alma multifilar compactada, classe 2) é de 19,2 mm, logo o raio r_1 será de 9,6 mm. [29]

r_2 = cabo com ecrã: raio sobre o invólucro isolante (mm), (não se entrando em conta com a camada condutora eventualmente sobre o isolante). Para cabo LXHIV 8,7/15 kV de 240 mm², o diâmetro sobre isolamento é de 30 mm, logo o raio r_2 será de 15 mm. [29]

Sendo o invólucro isolante do cabo LXHIV, o polietileno reticulado PEX, o valor de ϵ é 2,8. [29]

Então, e substituindo os valores supracitados na equação 12 obtemos um valor da capacidade aproximadamente igual a 0,35 $\mu\text{F}/\text{km}$. Sendo três condutores, o valor de C deste cabo será então de $3 \times 0,35 \mu\text{F}/\text{km}$., ou seja, 1,05 $\mu\text{F}/\text{km}$.

Por outro lado, há também a considerar as perdas dielétricas.

Num dielétrico perfeito, a corrente capacitiva está rigorosamente em avanço de $\pi/2$ em relação à tensão aplicada. Pelo contrário, no caso de dielétricos usados industrialmente o desfasamento é ligeiramente inferior a $\pi/2$. Este facto traduz-se por uma perda de energia que provoca o aquecimento do isolante.

As perdas no dielétrico de um condutor são dadas por:

$$W_d = U_0^2 C \omega \tan \delta \cdot 10^{-6} \quad (\text{W}/\text{km}) \quad (13)$$

Onde:

U_0 = tensão simples ($15000/\sqrt{3}$) (V)

$\omega = 2\pi f$

$\tan \delta$ = tangente do ângulo de perdas do dielétrico, ou fator de perdas (ou ainda fator de potência do dielétrico). Para o cabo com camada isolante a PEX, o valor é de 40×10^{-4} .

Tendo já sido calculado anteriormente o valor de C e sabendo quais os valores das restantes grandezas, substituindo na equação obtemos um valor de perdas no dielétrico W_d de 9,9 W/km.

Sendo a distância entre PT2 e PT4 de 980 m, então as perdas serão de 9,7 W.

Calculando a potência reativa capacitiva injetada em conformidade com a equação 11, sabendo o valor de C, já calculado, sendo de 1,05 $\mu\text{F}/\text{km}$, obtém-se um valor igual a 24,20 kvar. As horas de vazio totais referentes a um mês são 318 h, o que dá então um total de 7.695,60 kvarh.

Pelos cálculos efetuados tendo em consideração estas fórmulas e o tipo de cabos que interligam os vários PT's e PT's e subestação, conclui-se que o valor de energia reativa capacitiva provocada pelos cabos em vazio mensalmente é de 49.131 kvarh, enquanto que pelas análises efetuadas à instalação, a energia reativa capacitiva registada e calculada para um mês foi de cerca de 39.826 kvarh.

- **Cabos BT**

Nos cabos elétricos trifásicos de BT verifica-se um acréscimo das perdas no condutor de retorno (neutro) devido à eventual circulação dos harmónicos de corrente homopolar de 3^a ordem (múltiplos de três), acrescidos pelas perdas dielétricas suplementares. Sendo as perdas dielétricas proporcionais à frequência, nota-se um acréscimo destas à medida que a ordem das harmónicas aumenta. Devido à presença de tensões contínuas associadas a harmónicos pares, os cabos são mais facilmente corroídos. [24]

Não foi possível verificar e efetuar cálculos para os cabos BT por falta de informação, a qual não foi disponibilizada pela Base Aérea devido a também não a terem disponível.

- **Componentes harmónicas**

Por outro lado, a circulação de componentes harmónicas na instalação também leva a um aumento de pagamento da energia ativa, devido ao efeito das perdas por efeito de Joule, traduzidas pela equação:

$$P = RI^2 \quad (14)$$

Além disso, a não linearidade e a histerese dos circuitos magnéticos dos transformadores originam distorção harmónica de terceira ordem. [30]

4.1.2. Soluções

Havendo necessidade de corrigir o valor de energia reativa capacitiva e o problema das harmónicas, a solução tecnicamente mais adequada passa pela instalação de Filtros Ativos em alguns dos Postos de Transformação. Conseguir-se-á consequentemente uma melhoria

da eficiência energética na instalação, diminuindo as perdas por efeito de Joule, reduzindo o valor da fatura de eletricidade. Diminuindo o consumo de eletricidade, a Unidade da Força Aérea contribuirá para a diminuição de emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) e positivamente para o combate às Alterações Climáticas.

As componentes harmónicas aumentam num circuito elétrico quando um elevado número de luminárias LED são instaladas. No caso da Infraestrutura da Base Aérea foi possível constatar que a THD I subiu quer nas fases, quer no neutro.

Foram instaladas cerca de 207 luminárias LED de 50 W, provocando uma sobrecarga harmónica no condutor de neutro. Para este tipo de situação, uma forma de mitigar o problema passa pela instalação de Filtros Ativos.

Foram então estudados e definidos os Filtros Ativos (FA) mais adequados para a instalação e ficaram definidos dois modelos da marca ICAR by ORTEA NEXT.

São FA trifásicos a 4 fios, de 60 A e de 120 A.

Os FA serão instalados em 5 PTs, como indicado na tabela 4.3. Características na tabela 4.4.

Tabela 4.3 – FA a considerar por PT [31]

PT	Descrição	Código
PT1	ACTIVEmatic FA44 W 60 A - 4 FIOS	FA44W060XXA0000
PT2		
PT3		
PT4	ACTIVEmatic FA44 W 120 A - 4 FIOS	FA44W120XXA0000
PT13		

A melhor localização da instalação do FA depende do posicionamento mútuo entre a carga geradora de harmónicas e a carga crítica a proteger.

É necessário considerar três transformadores de intensidade para medir a corrente, os quais devem ser instalados do lado da carga.

O FA deve ser protegido por disjuntor magnetotérmico ou bloco de fusíveis de calibre adequado. [31]

Tabela 4.4 – Características dos FA [31]

Descrição	Compensação em Corrente (A)			Tensão (V)	Perdas (W)		Peso (Kg)
	Fios	Fase	Neutro		Carga	Standby	
ACTIVEmatic FA44 W 60 A - 4 FIOS	4	60	180	200 V...415 V(±10%)	900	50	96
ACTIVEmatic FA44 W 120 A - 4 FIOS	4	120	360	200 V...415 V(±10%)	1800	100	160

4.2. Análise e tratamento de dados

Para se registarem perturbações como a distorção harmónica, a ERSE sugere:

- Período de medição: 1 semana.
- Variável física associada: valor instantâneo da tensão numa fase para realizar uma análise fina, ou valor eficaz da tensão numa fase para calcular a distorção harmónica total.
- Equipamento de medição: a norma CEI 61000-4-7 indica as condições que conduzem à homologação de equipamentos para realizar medição de harmónicos. No entanto, pode ser utilizado um equipamento do tipo registador de valor eficaz monofásico com o seu software associado. Este equipamento deverá permitir calcular o valor da distorção harmónica total de forma a identificar zonas da rede com problemas.
- Ponto de medição: ponto de ligação, quer seja em redes de baixa quer em redes de média tensão; PT; saídas de MT das subestações. [32]

Assim, foram analisados os vários Postos de Transformação (PTs) da Base Aérea, assim como, a Subestação, tendo sido registados os vários parâmetros elétricos em analisadores de redes da marca FLUKE.

4.2.1. Análise da subestação

A subestação foi analisada de 1 a 15 de março de 2019. Foi registado como valor máximo de potência reativa 13,2 kvar.

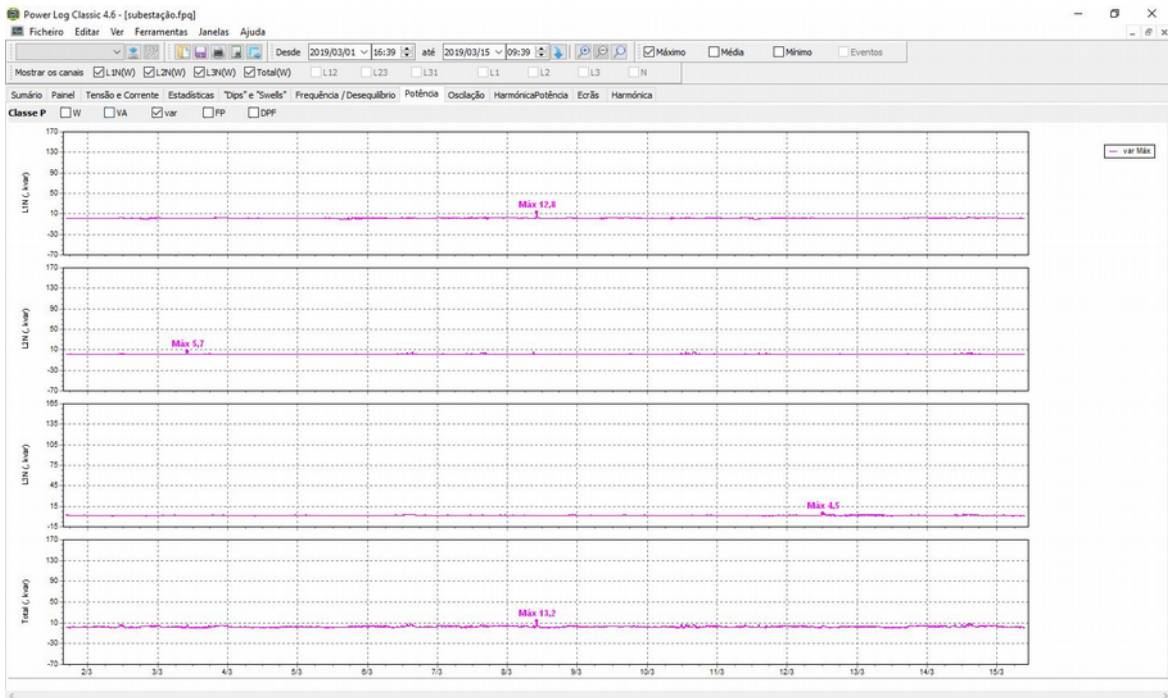


Figura 4.2 – Potência reativa máxima na Subestação

O valor máximo quer do fator de potência, quer do $\cos \varphi$ ou *displacement power factor* (DPF), foi igual a 1.

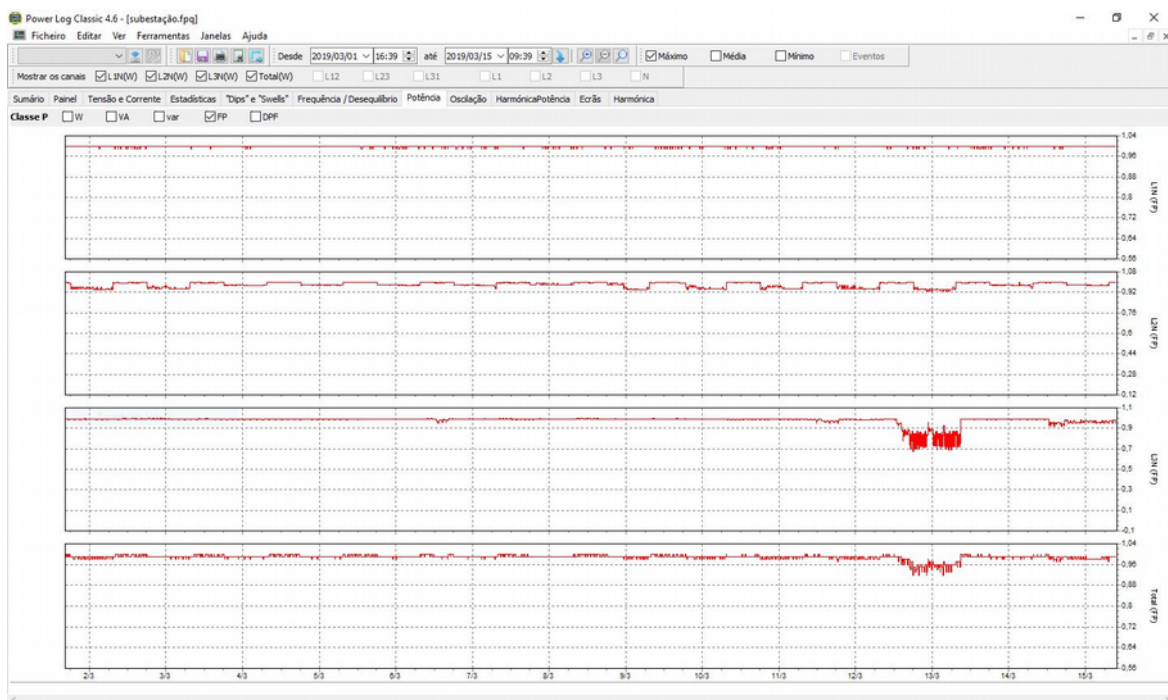


Figura 4.3 – Valor máximo do fator de potência na Subestação



Figura 4.4 – Valor máximo do $\cos \phi$ na Subestação

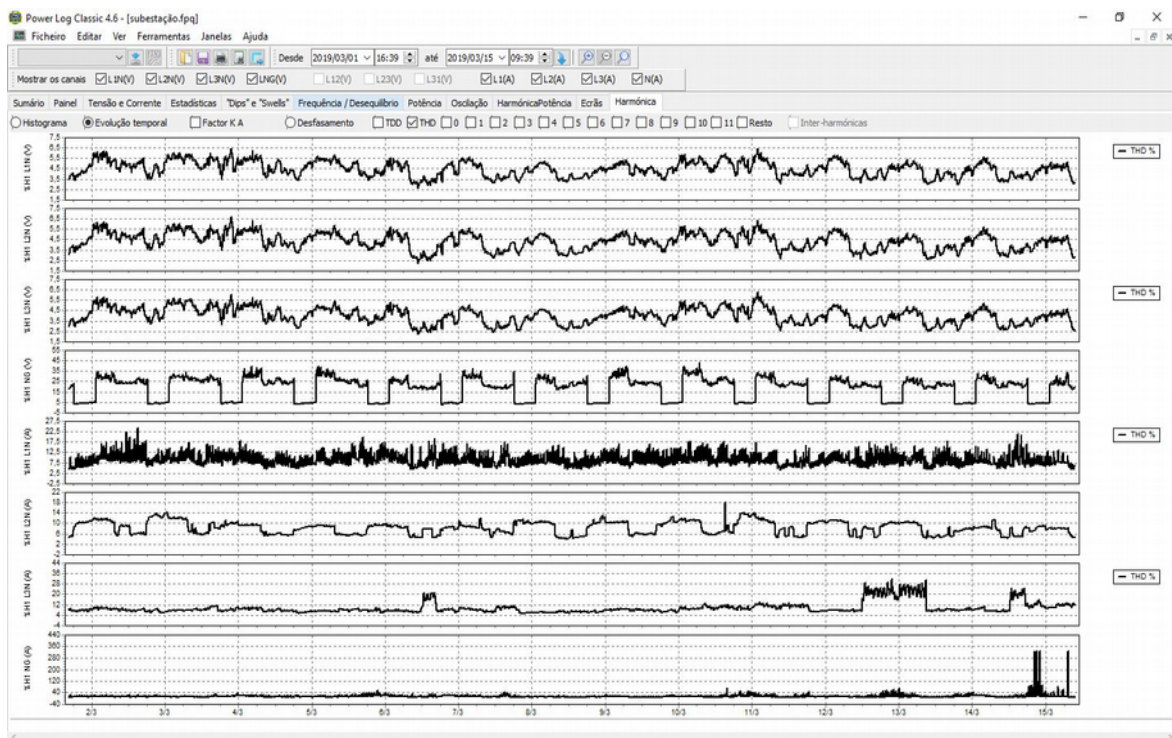


Figura 4.5 – Valor de THD na Subestação

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 6,5% nas fases e de 45% no N. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 22,83% e 320% no N.

Registaram-se harmónicas de 3.^a, 5.^a, 7.^a, 9.^a e 11.^a ordem, tendo-se verificado que em tensão a que prevalece é a de 7.^a ordem e em corrente na fase 1 e neutro (N) é a de 3.^a ordem, na fase 2 é a de 7.^a ordem e na fase 3 é a de 5.^a ordem.

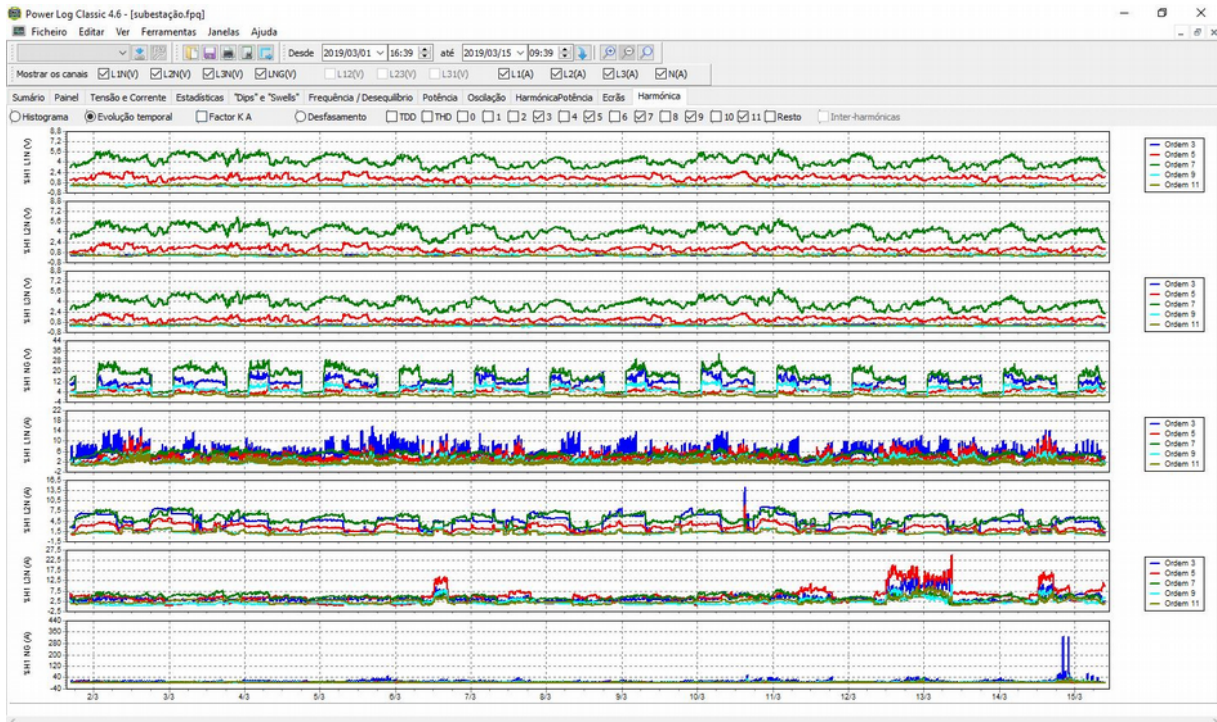


Figura 4.6 – Componentes Harmónicas registadas na Subestação

Em corrente registou-se uma diferença significativa entre a fase 1, com o valor mais elevado, e as fases 2 e 3. Na fase 1 verificou-se que o valor máximo foi de 82 A, enquanto que nas fases 2 e 3 o valor foi de 31 e 39 A, respetivamente. No neutro o valor é bastante elevado, tendo sido registado o valor máximo de 76 A.

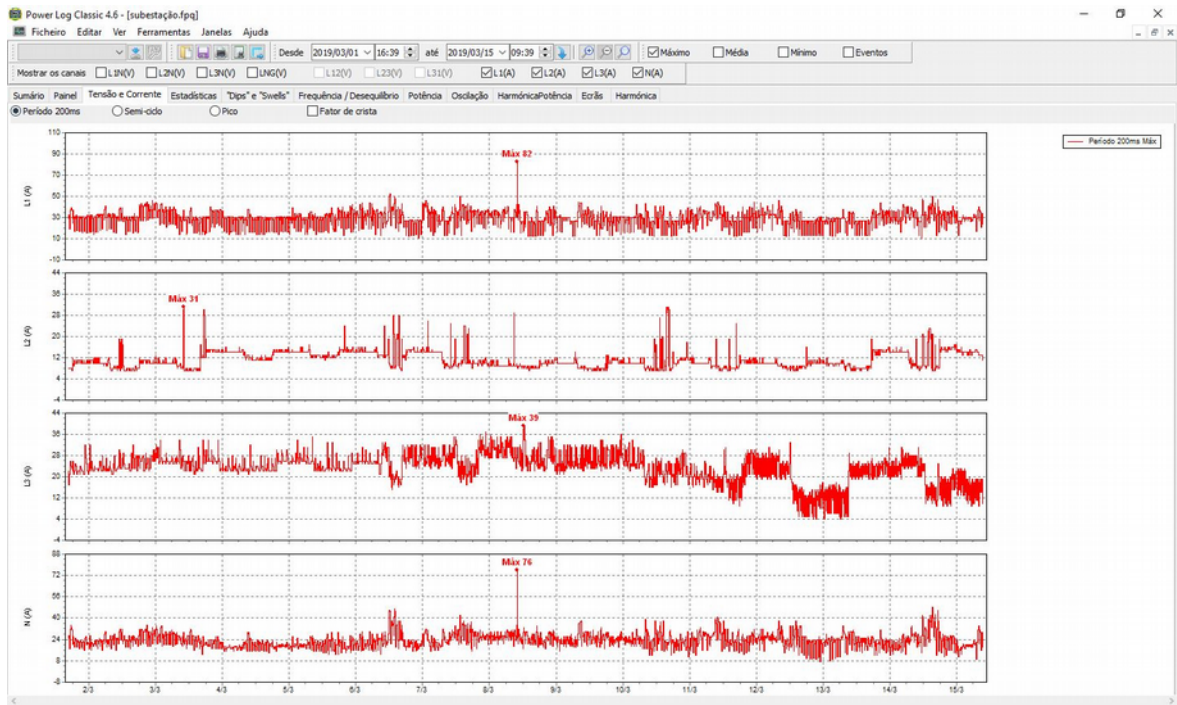


Figura 4.7 – Corrente máxima por fase e N na Subestação

O valor máximo da frequência e os desequilíbrios estão identificados na figura 4.8.



Figura 4.8 – Frequência máxima e desequilíbrios na Subestação

Durante o período de análise ocorreram dois eventos em tensão, isto é, duas cavas com duração entre 10 e 200 ms e com uma percentagem de tensão residual entre 40 e 70%.

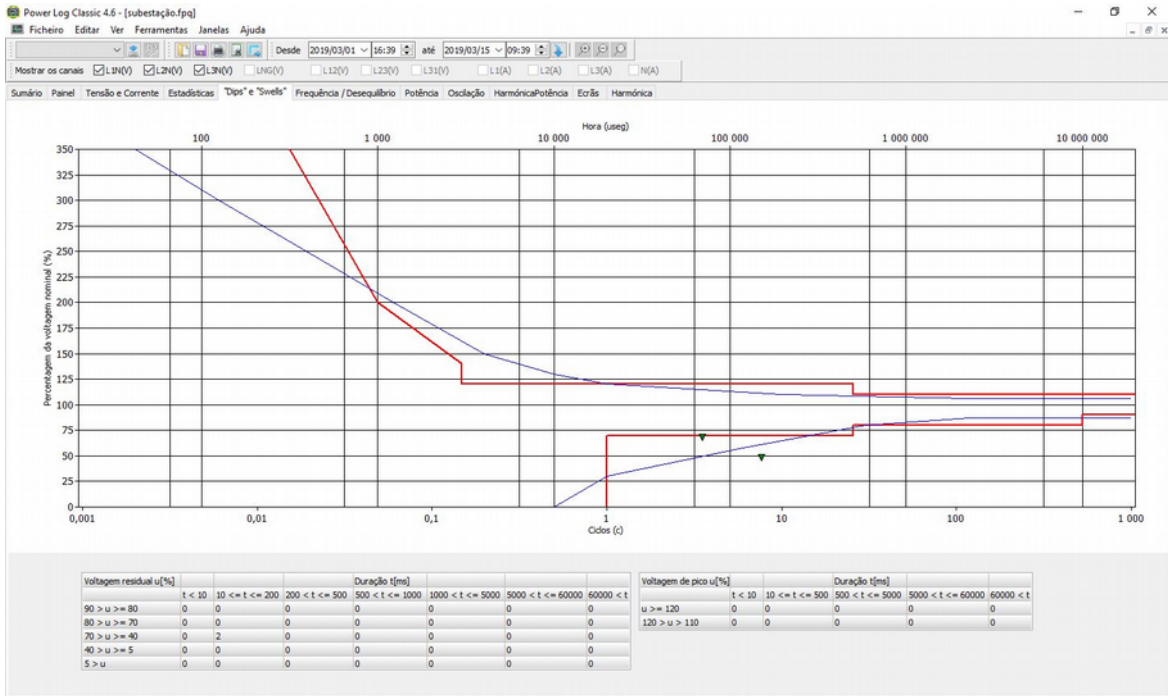


Figura 4.9 – Cavas registadas na Subestação

Através do diagrama de carga da subestação, correspondente ao dia 7 de março de 2019, verificou-se uma potência máxima (ponta) de 19,6 kW às 01h:09':47'', como se pode ver na figura 4.10.

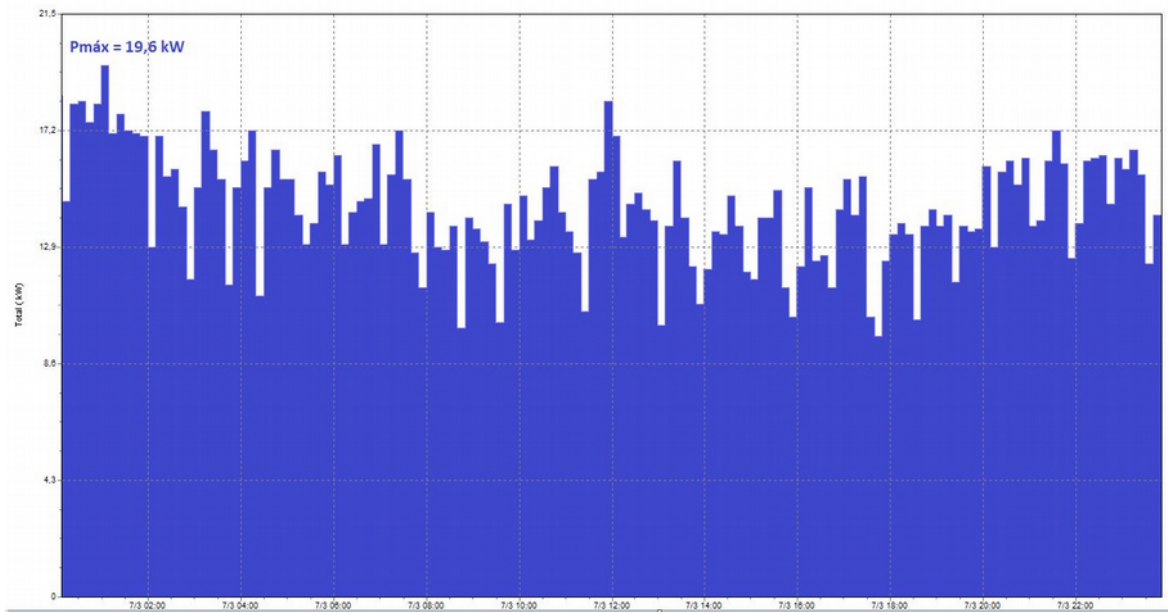


Figura 4.10 – Diagrama de carga da subestação, dia 7 de março de 2019

4.2.2. Análise do posto de transformação PT1 – antes da substituição da iluminação

O PT1 foi analisado de 6 a 13 de dezembro de 2018, antes da substituição da iluminação. Foi registrado como valor máximo de potência reativa 61,713 kvar.

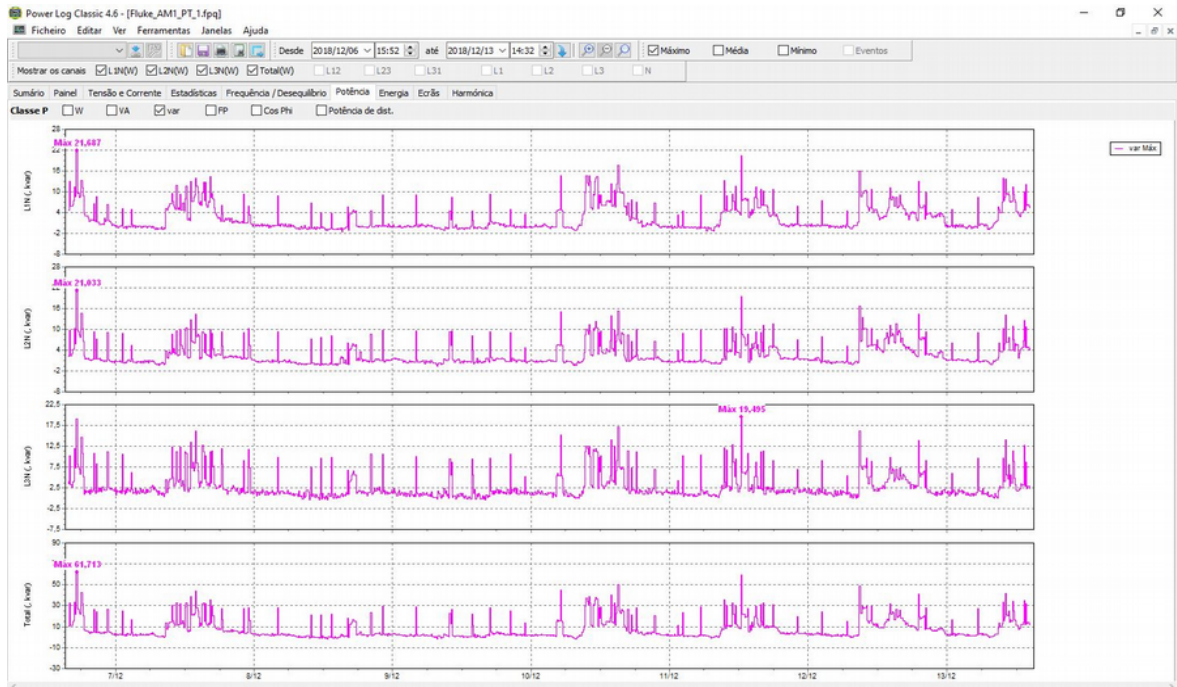


Figura 4.11 – Potência reativa máxima no PT1

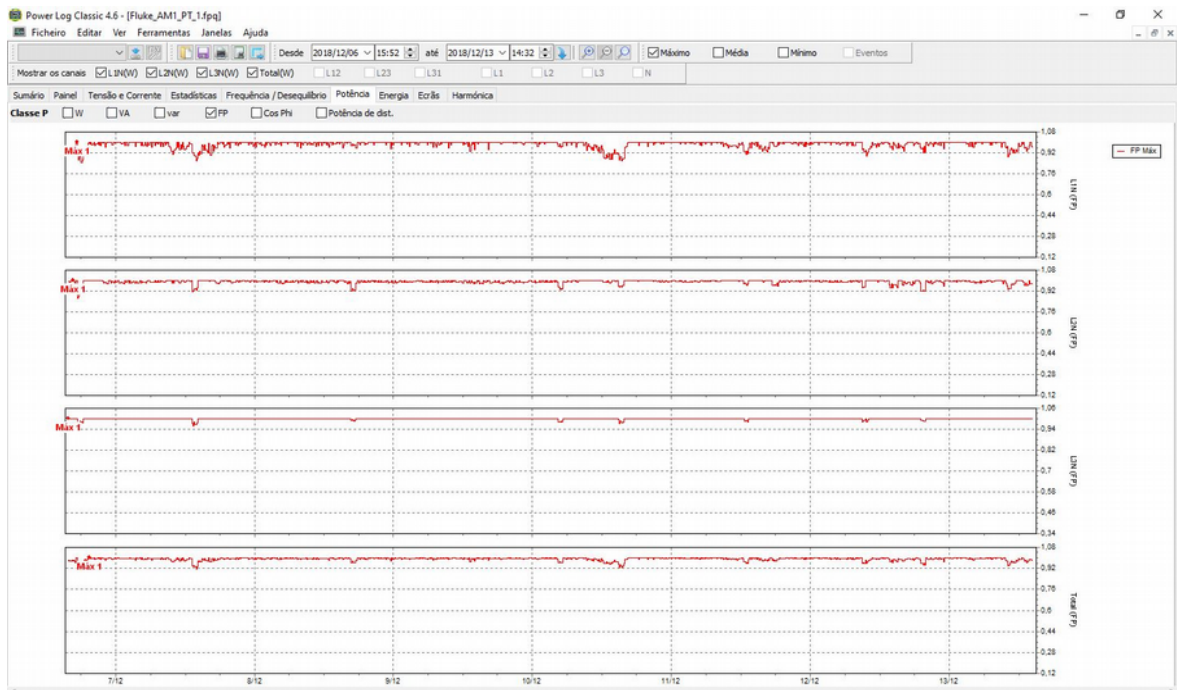


Figura 4.12 – Valor máximo do fator de potência no PT1

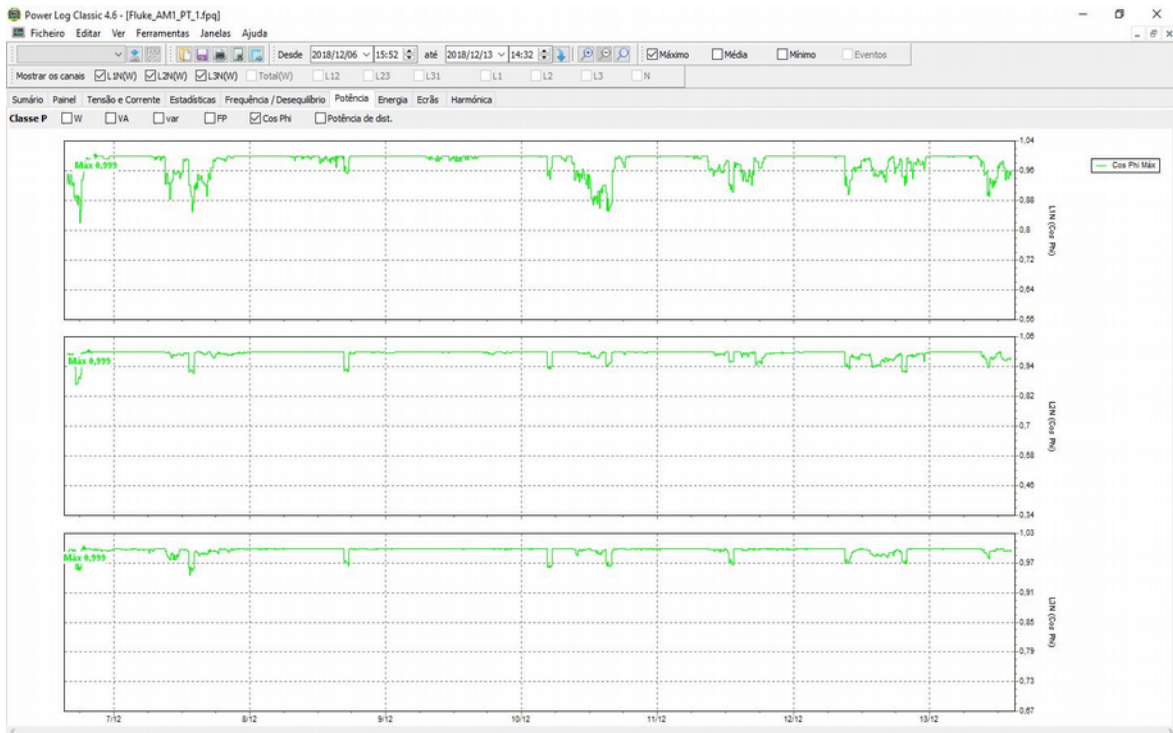


Figura 4.13 – Valor máximo do $\cos \phi$ no PT1

O fator de potência foi 1 e o valor máximo do $\cos \phi$ foi igual a 0,999.

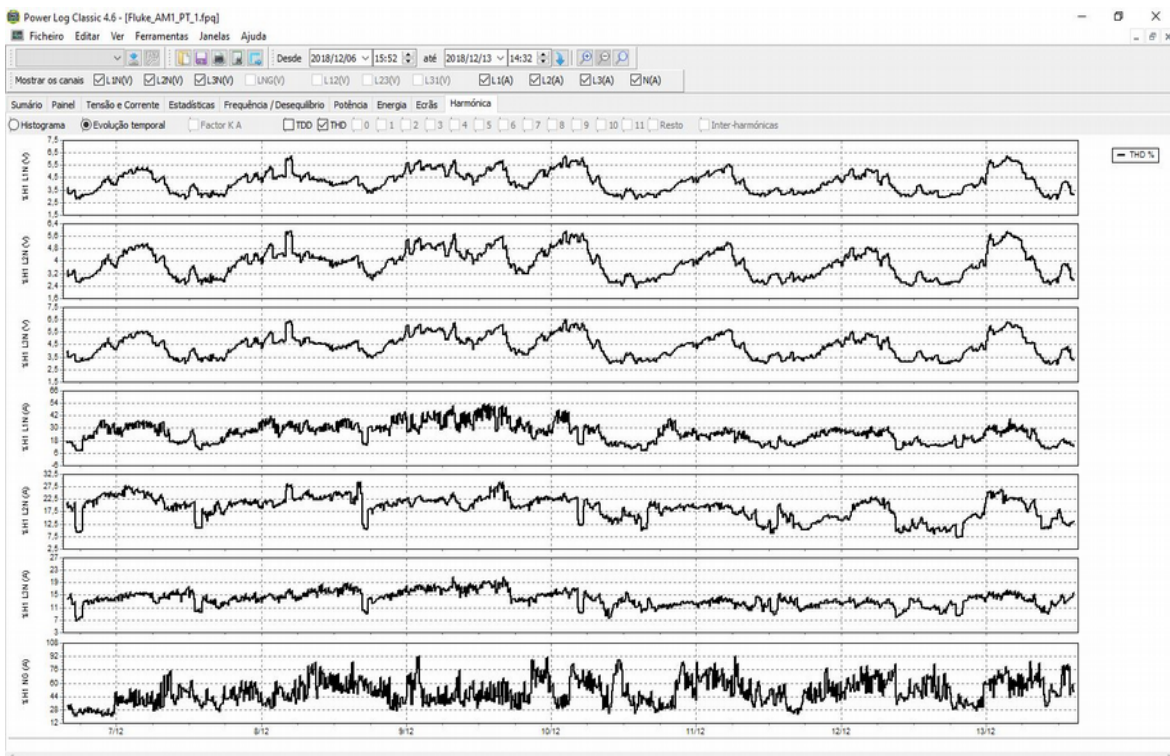


Figura 4.14 – Valor de THD no PT1

O valor médio de taxa de distorção harmónica total, *total harmonic distortion* (THD) em tensão é de 6,2% nas fases. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 34,13% e 92,6% no N.

4.2.3. Análise do posto de transformação PT1 – após substituição iluminação

O PT1 foi analisado de novo, após instalação de iluminação LED, entre 15 e 29 de março de 2019.

Foi registado como valor máximo de potência reativa 260,2 kvar.

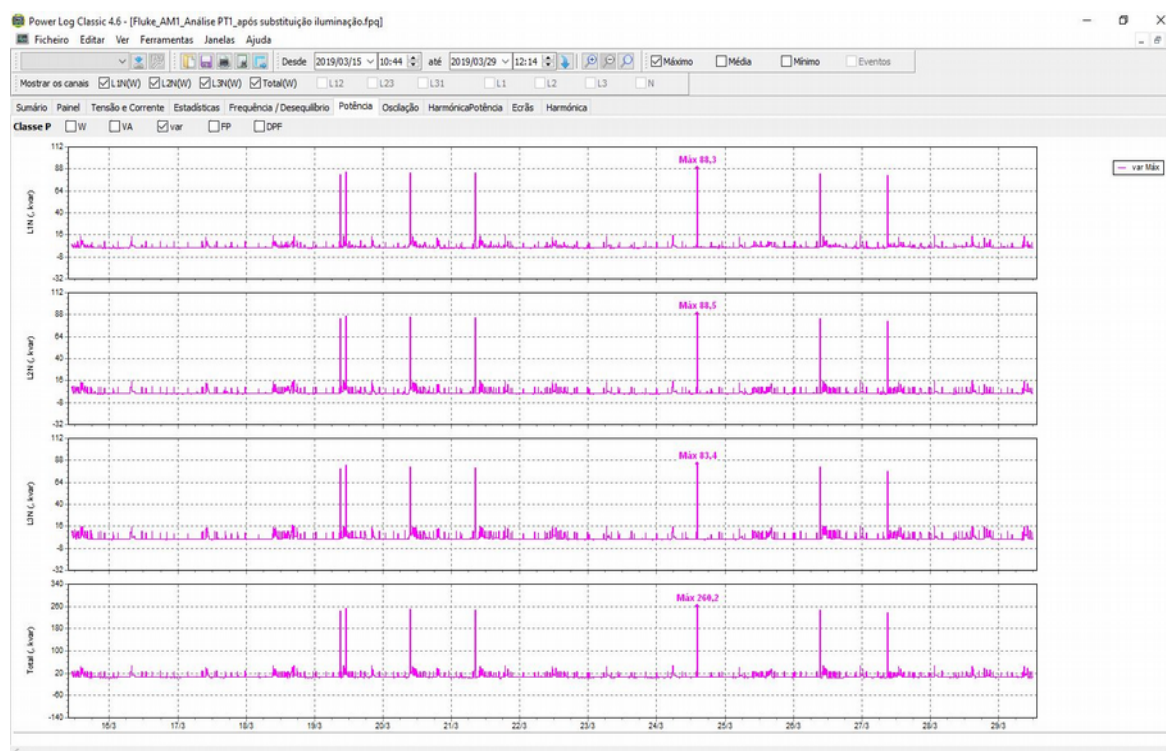


Figura 4.15 – Valor máximo de potência reativa no PT1 após substituição da iluminação

O valor máximo do fator de potência foi de 0,99 e o do $\cos \varphi$ foi 1.

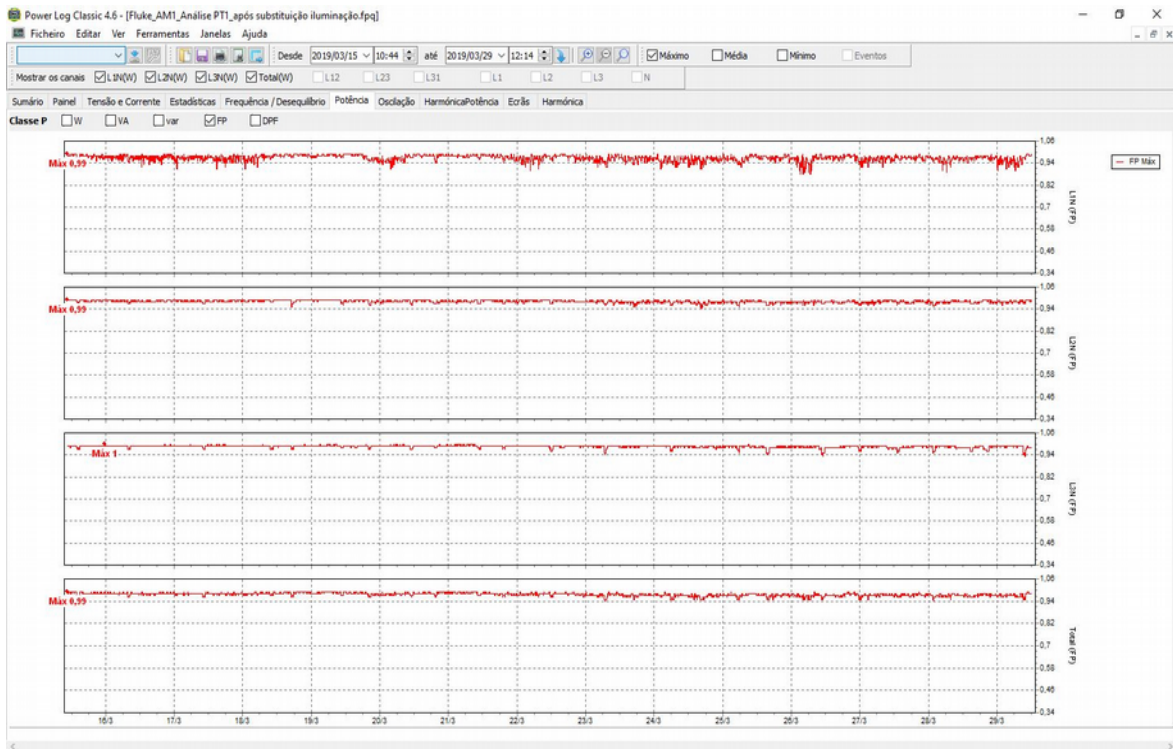


Figura 4.16 – Valor máximo do fator de potência no PT1 após substituição da iluminação

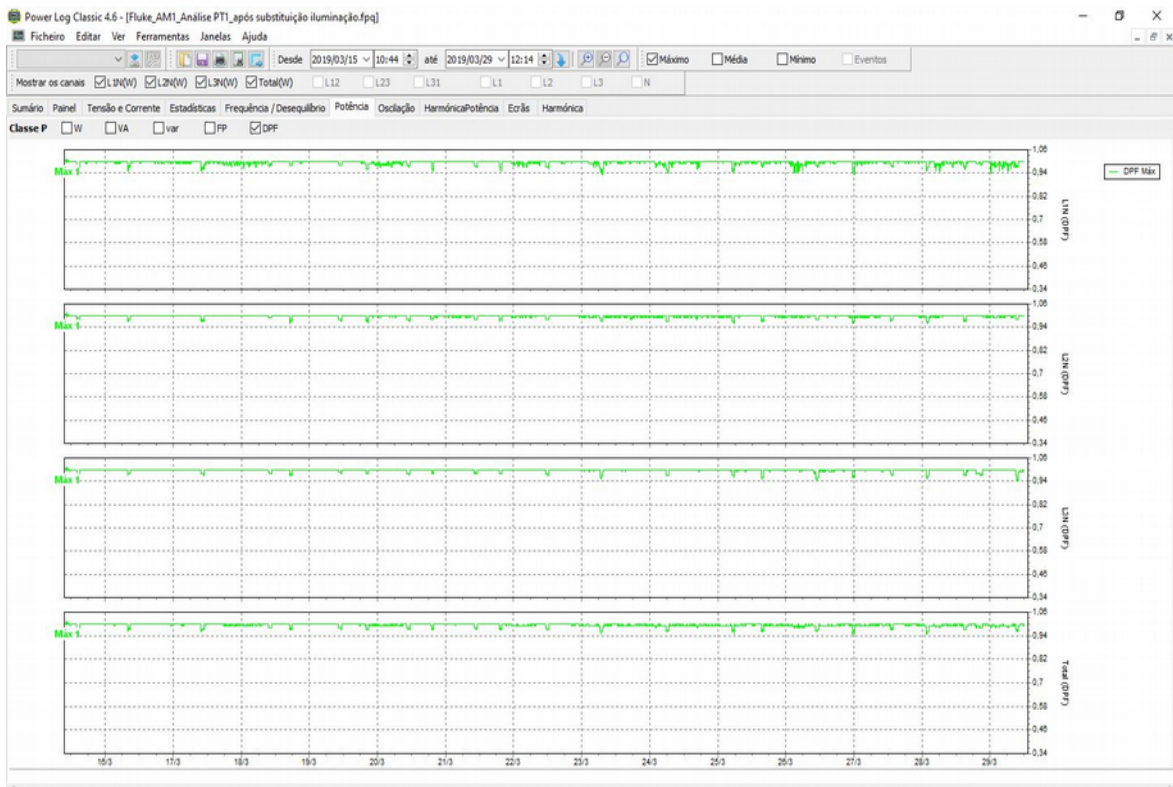


Figura 4.17 - Valor máximo do $\cos \phi$ no PT1 após substituição da iluminação

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 6,2% nas fases e de 12,69% no neutro (N). O valor médio THD em corrente nas fases foi de 44,03% e 327,67% no N.

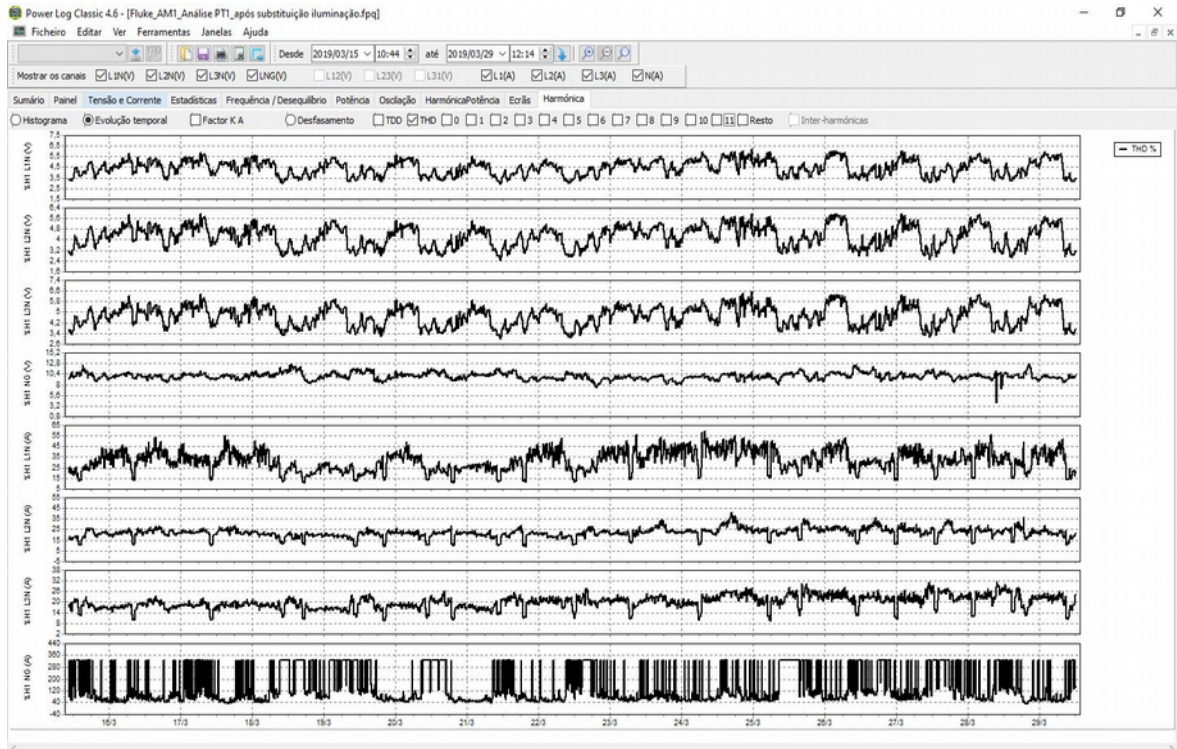


Figura 4.18 – Valor de THD no PT1 após substituição da iluminação

Registaram-se harmónicas de 3.^a, 5.^a, 7.^a, 9.^a e 11.^a ordem, tendo-se verificado que em tensão a que prevalece é a de 7.^a ordem nas fases e 3.^a ordem no N e em corrente na fase 1 e 2 a de 5.^a ordem, na fase 3 a de 7.^a ordem e no neutro (N) é a de 3.^a e 9.^a ordem.

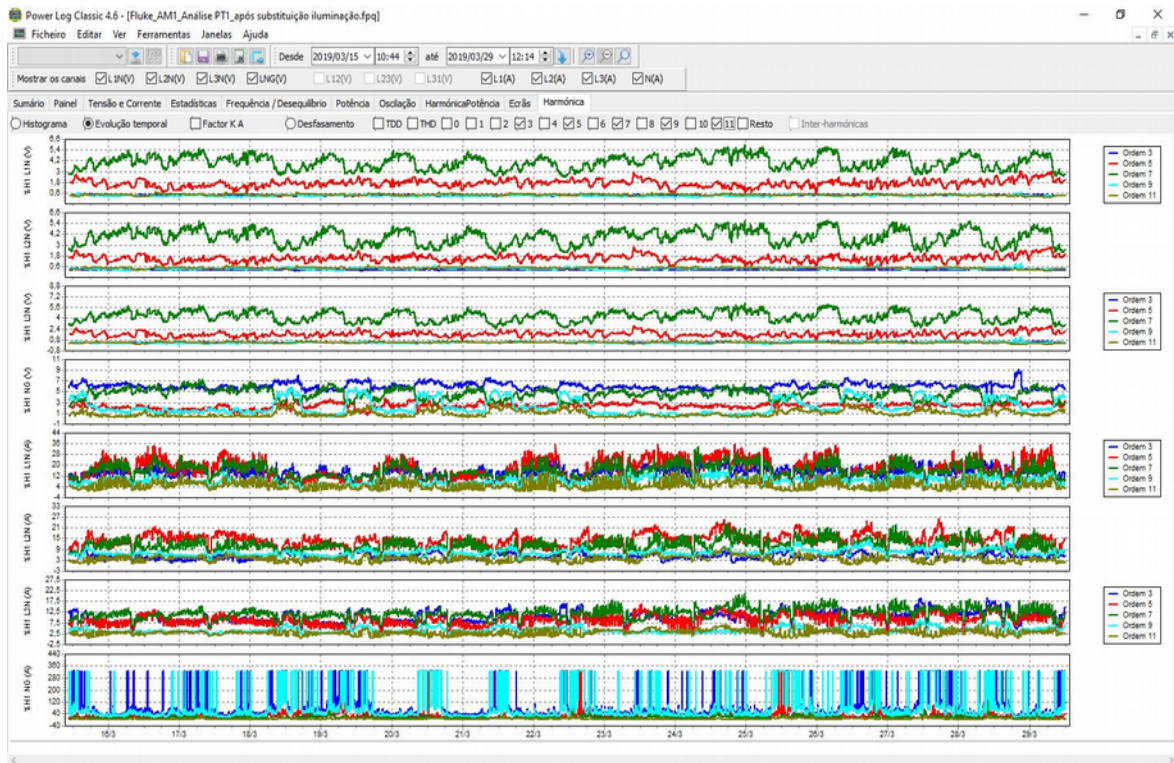


Figura 4.19 – Componentes harmônicas no PT1 após substituição da iluminação

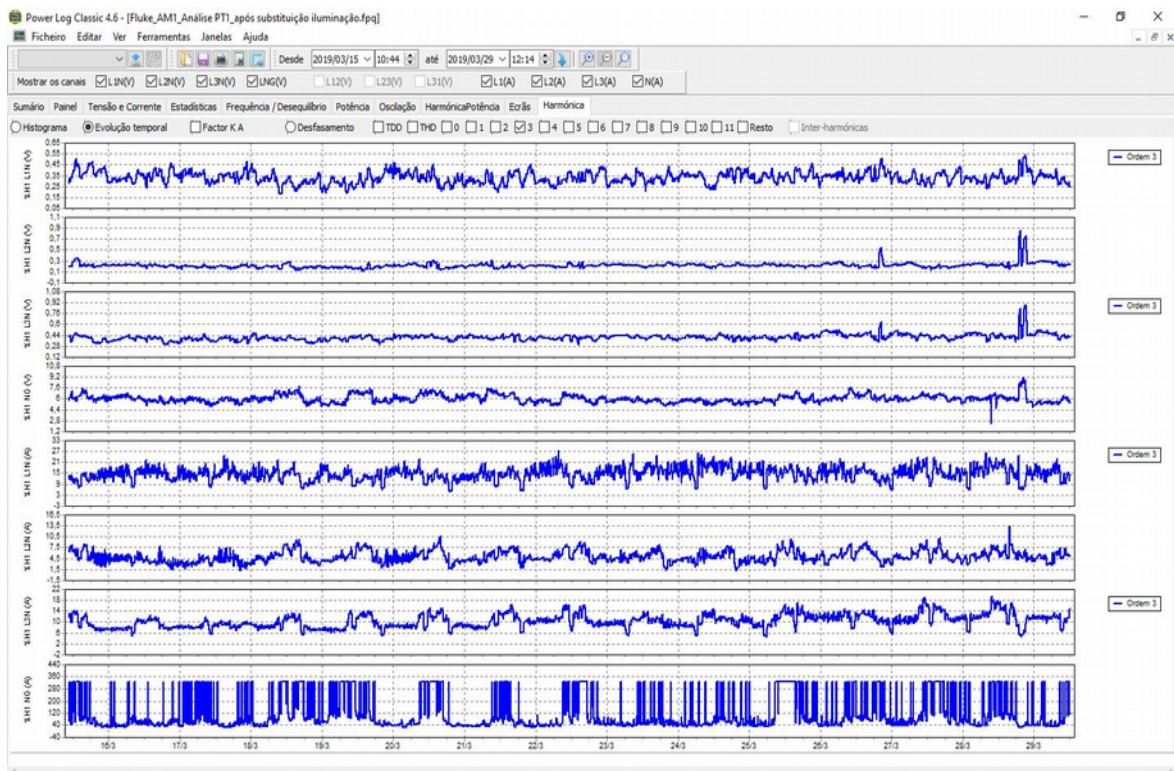


Figura 4.20 - terceira harmônica no PT1 após substituição da iluminação

4.2.4. Análise do posto de transformação PT2

O PT2 foi analisado de 4 a 18 de janeiro de 2019. Foi registrado como valor máximo de potência reativa 27,453 kvar.

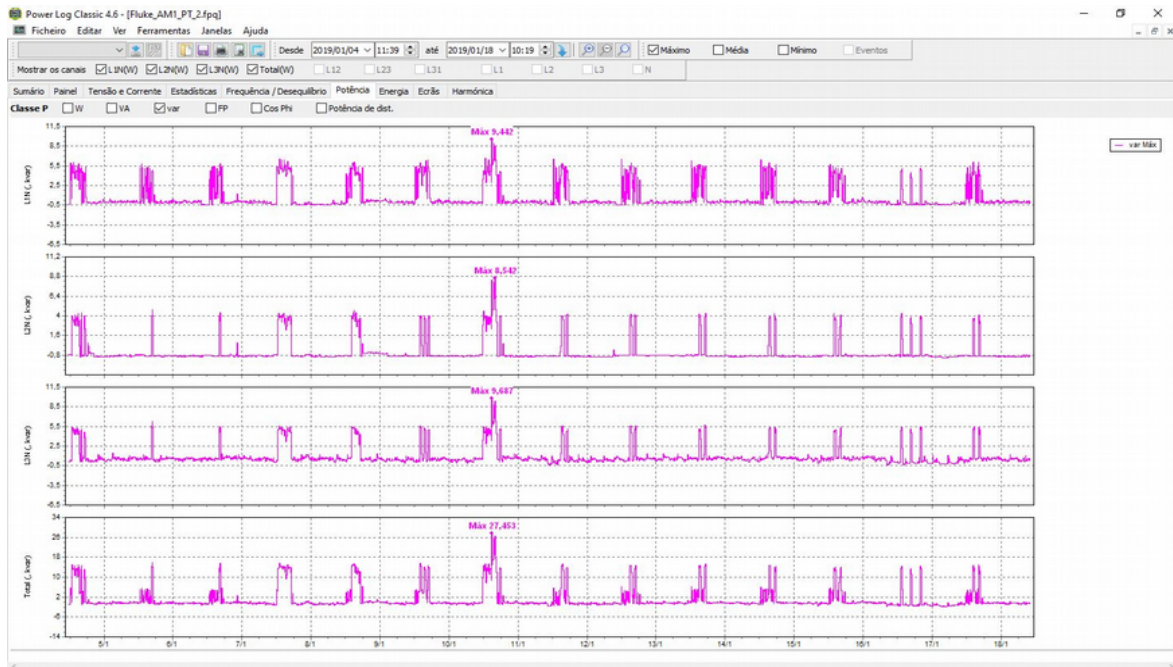


Figura 4.21 – Potência reativa máxima no PT2

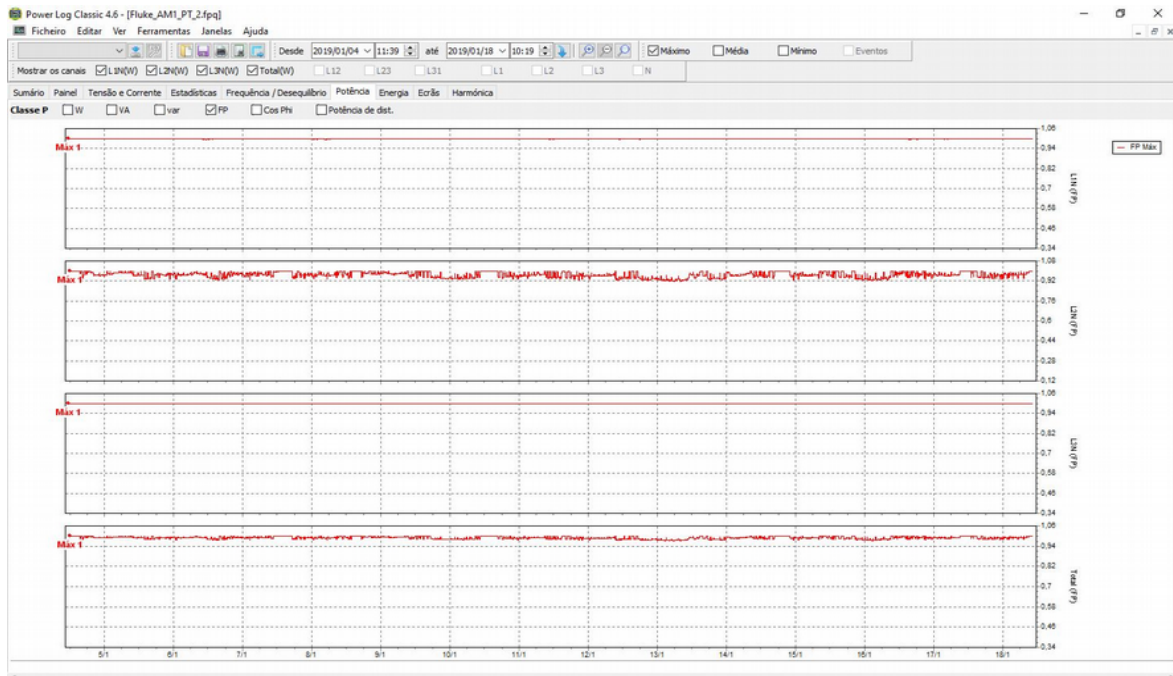


Figura 4.22 – Valor máximo fator de potência PT2

O valor máximo registado como fator de potência foi 1.

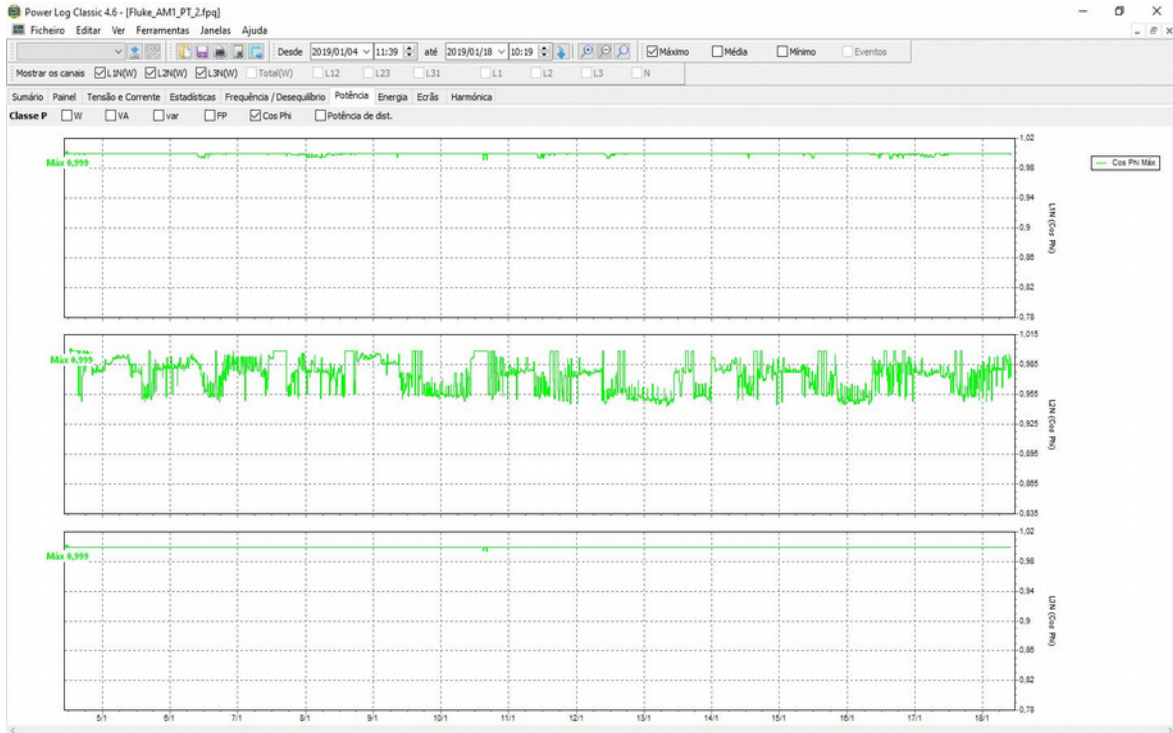


Figura 4.23 - Valor máximo do $\cos \phi$ no PT2

O $\cos \phi$ máximo registado foi de 0,999.

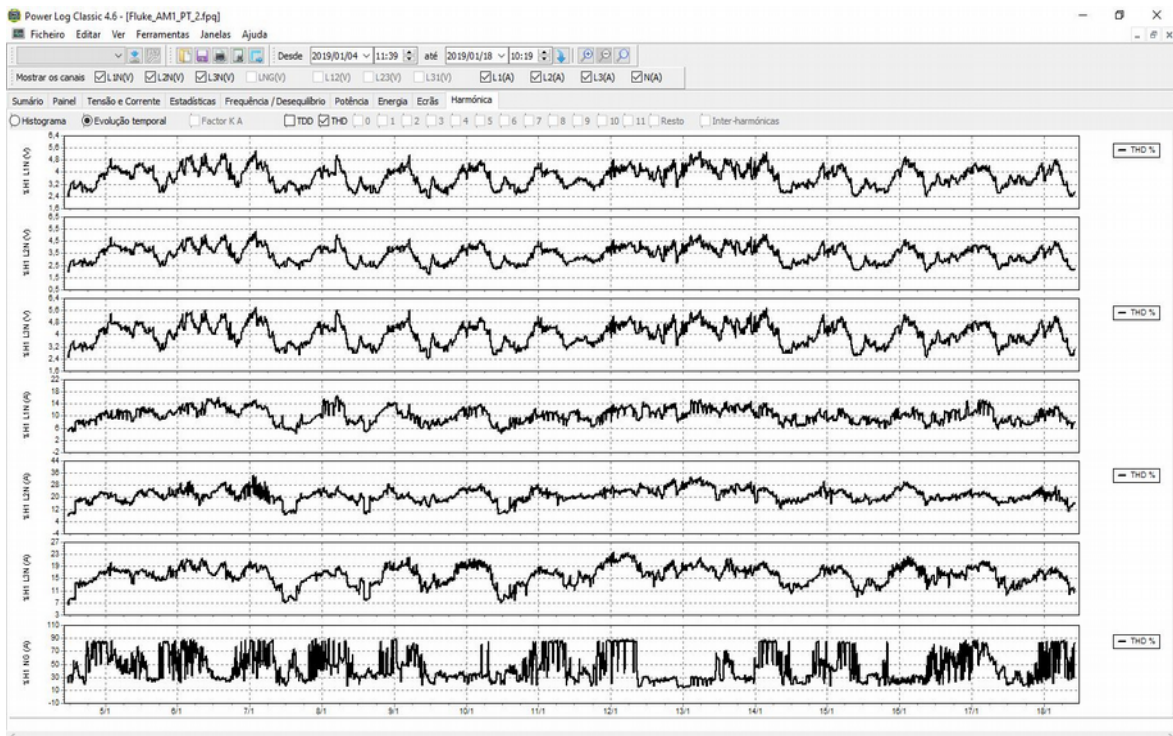


Figura 4.24 – Valor de THD no PT2

O valor médio de taxa de distorção harmônica total (THD) em tensão é de 5,5% nas fases. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 24,9% e 88,9% no N.

4.2.5. Análise do posto de transformação PT3

O PT3 foi analisado entre 5 e 19 de fevereiro de 2019.

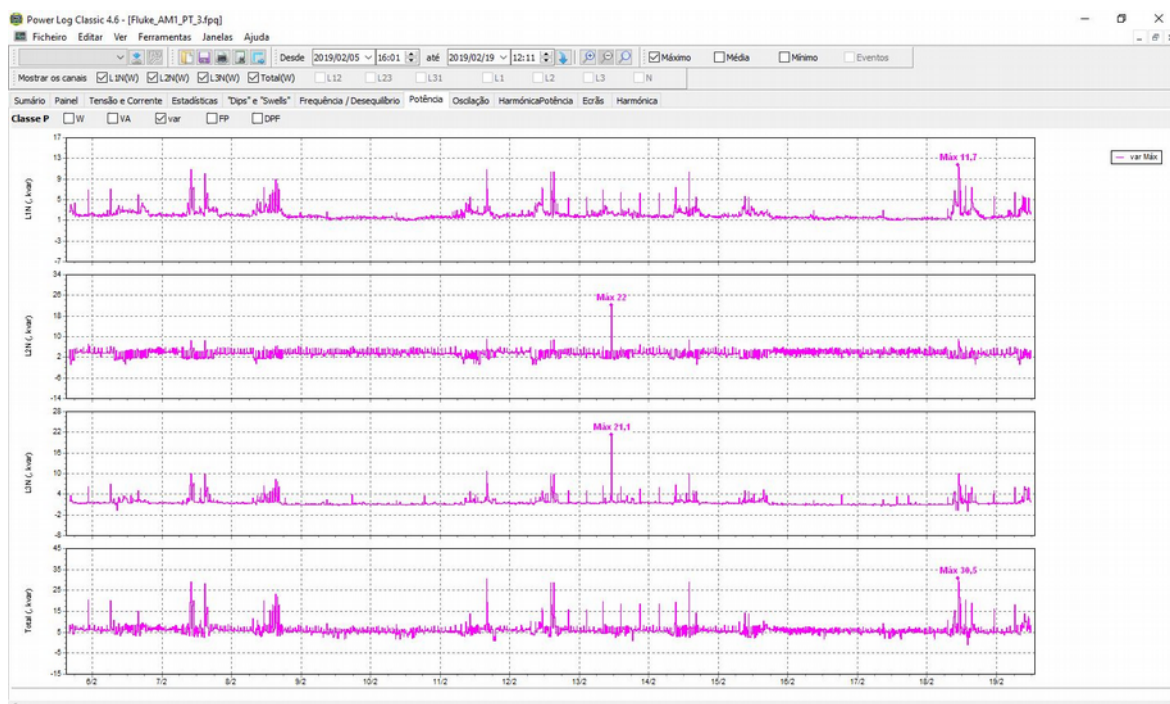


Figura 4.25 – Potência reativa máxima no PT3

Foi registrado como valor máximo de potência reativa 30,5 kvar.

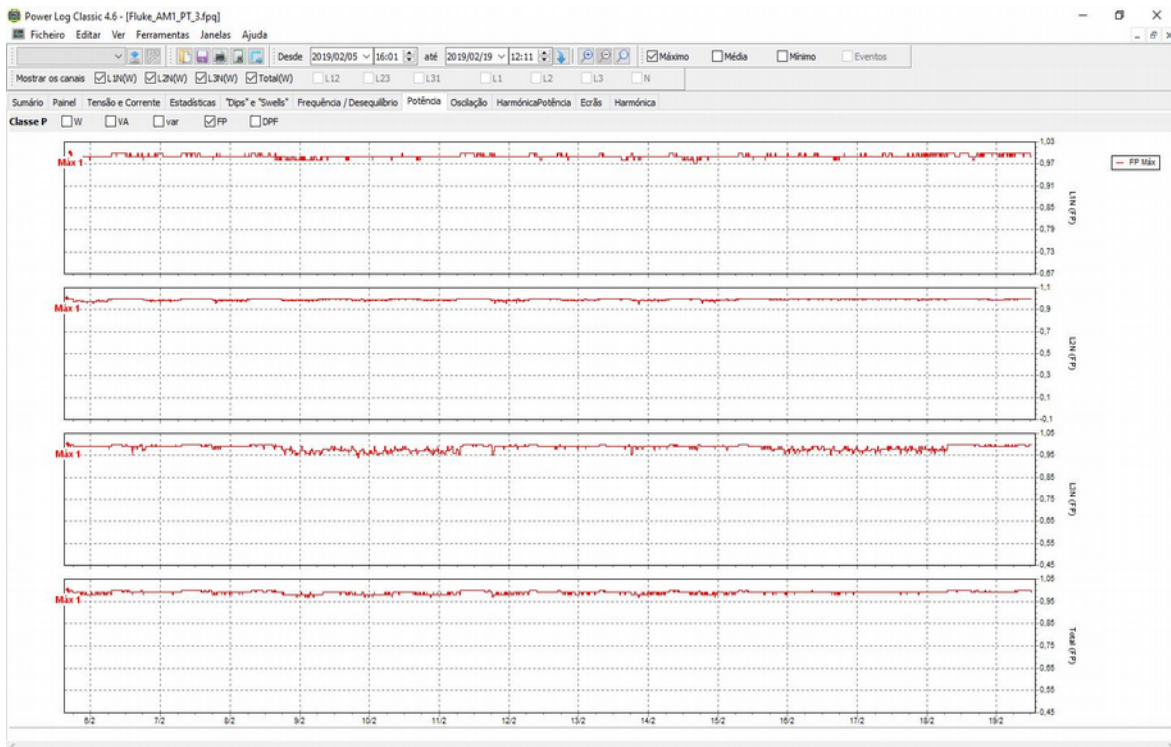


Figura 4.26 - Valor máximo fator de potência no PT3

O valor máximo do fator de potência e o do $\cos \phi$ foi igual a 1.

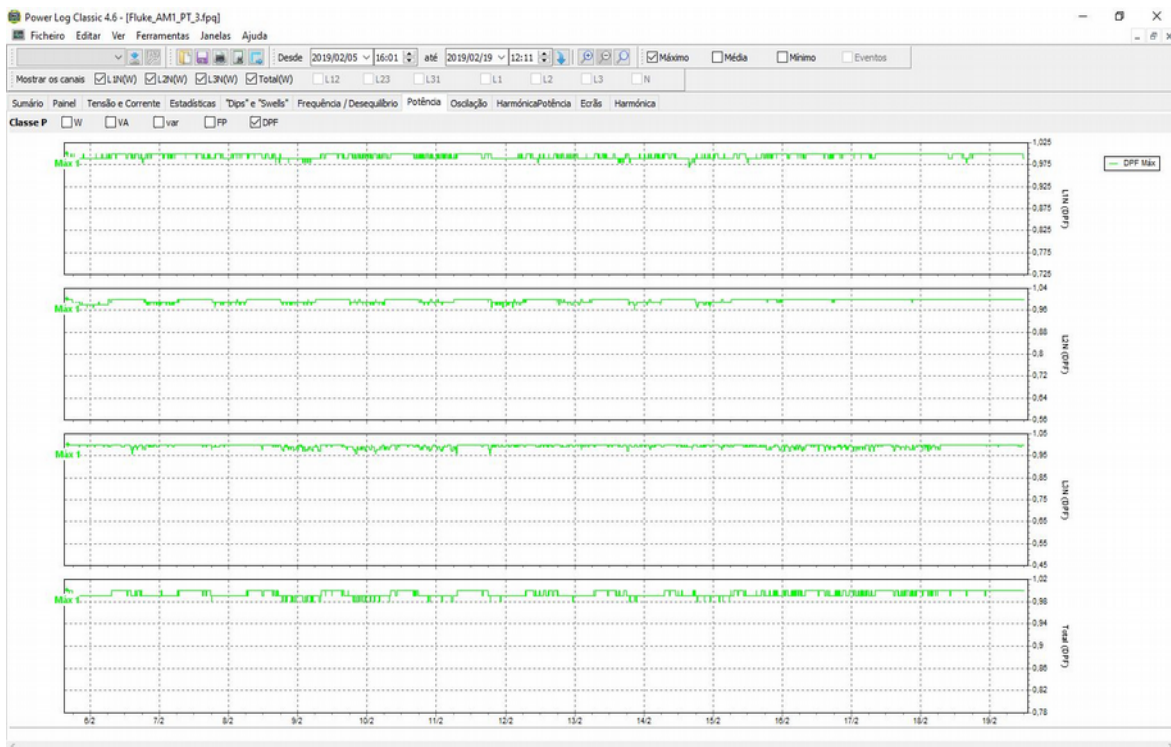


Figura 4.27 - Valor máximo do $\cos \phi$ no PT3

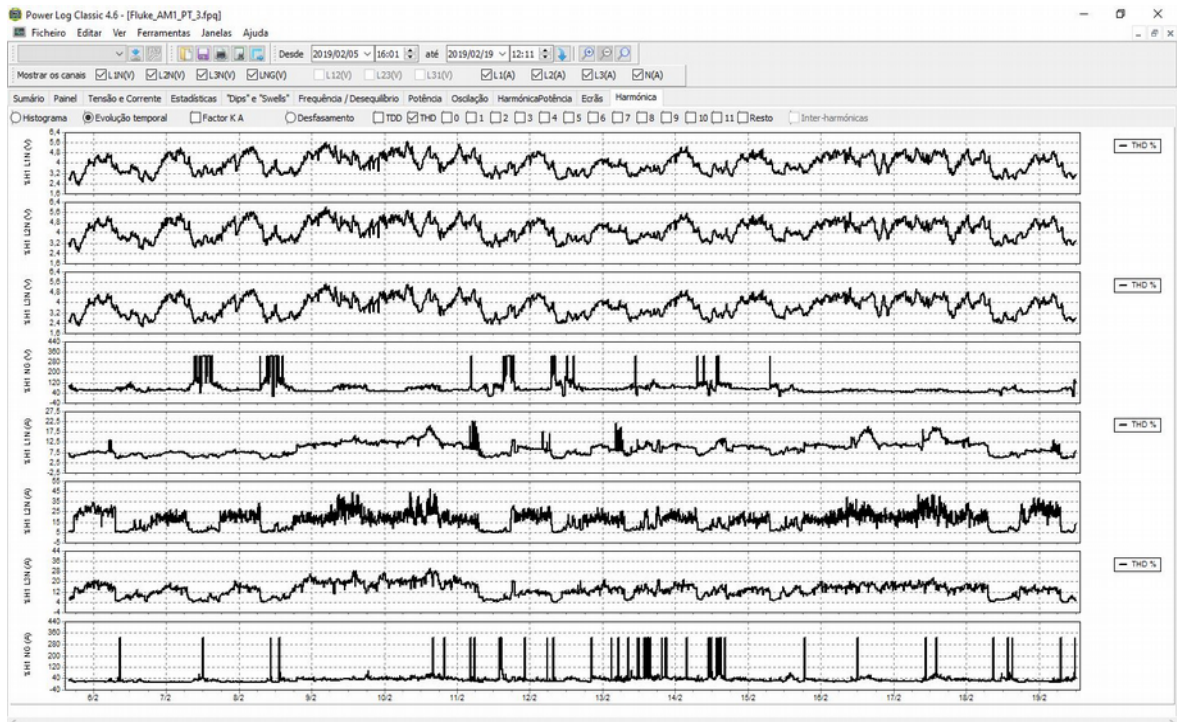


Figura 4.28 – Valor THD no PT3

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 5,69% nas fases e de 327,67% no neutro (N). O valor médio THD em corrente nas fases foi de 33,56% e 327,67% no N.

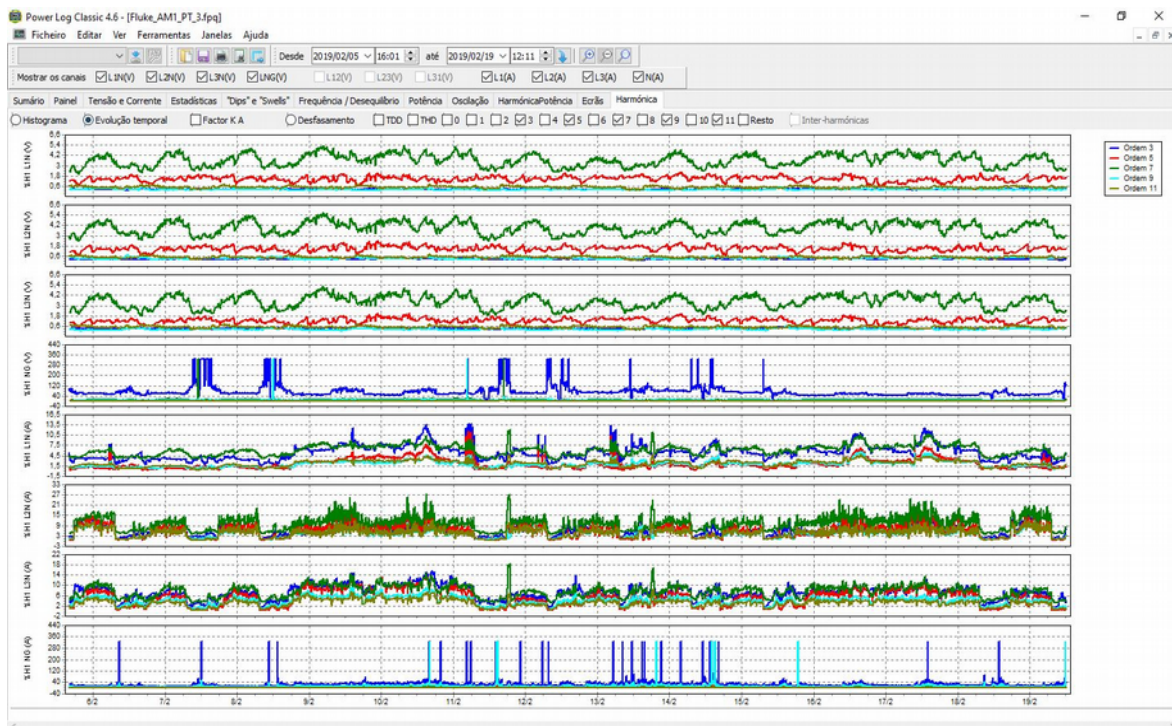


Figura 4.29 – Componentes harmónicas no PT3

Registaram-se harmônicas de 3.^a, 5.^a, 7.^a, 9.^a e 11.^a ordem, tendo-se verificado que em tensão a que prevalece é a de 7.^a ordem nas fases e a de 3.^a ordem no N e em corrente na fase 1 a 3.^a e 7.^a ordem, na fase 2 a de 5.^a ordem, na fase 3 é a de 7.^a ordem e no N é a de 3.^a e 9.^a ordem.

4.2.6. Análise do posto de transformação PT4

O PT4 foi analisado entre 29 de janeiro e 5 de fevereiro de 2019.

Foi registado como valor máximo de potência reativa 164,27 kvar.

O valor máximo do fator de potência foi igual a 1 e o do $\cos \varphi$, ou *displacement power factor* (DPF), foi de 0,999.

O valor médio de taxa de distorção harmônica total (THD) em tensão é de 6,23% nas fases.

O valor médio THD em corrente nas fases foi de 75,43% e 99,9% no N.

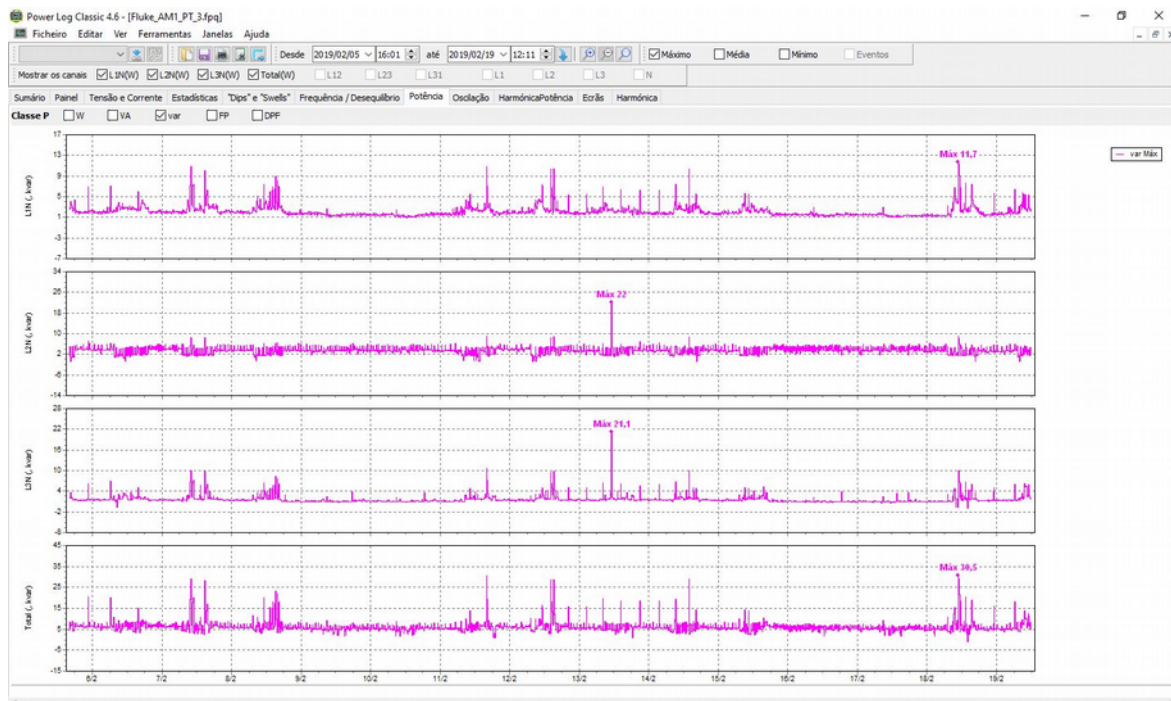


Figura 4.30 – Potência reativa máxima no PT4

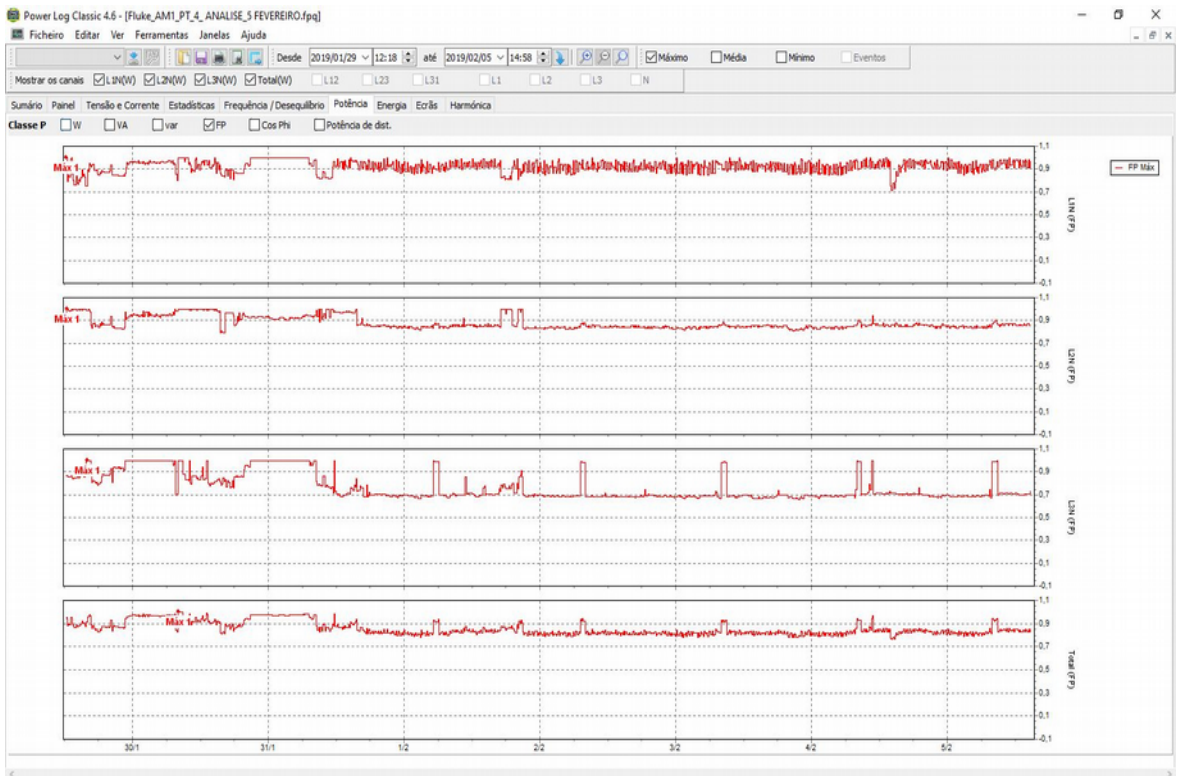


Figura 4.31 - Valor máximo fator de potência no PT4

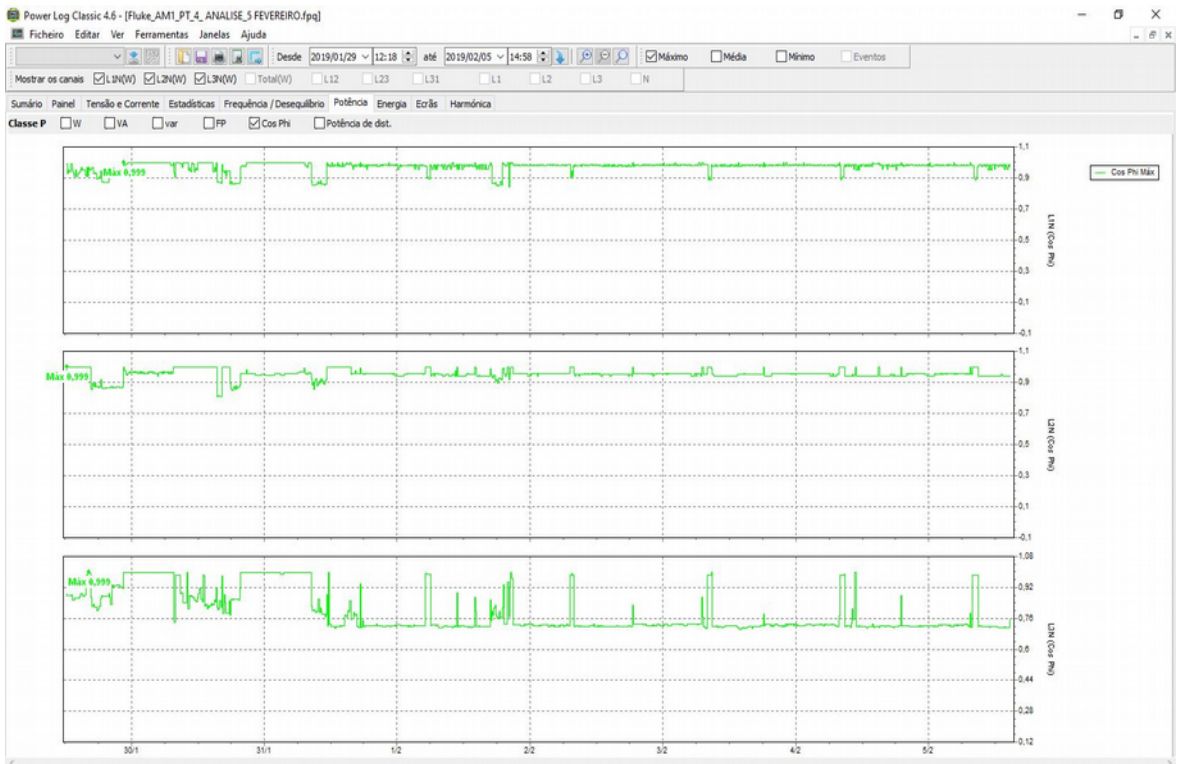


Figura 4.32 - Valor máximo $\cos \phi$ no PT4

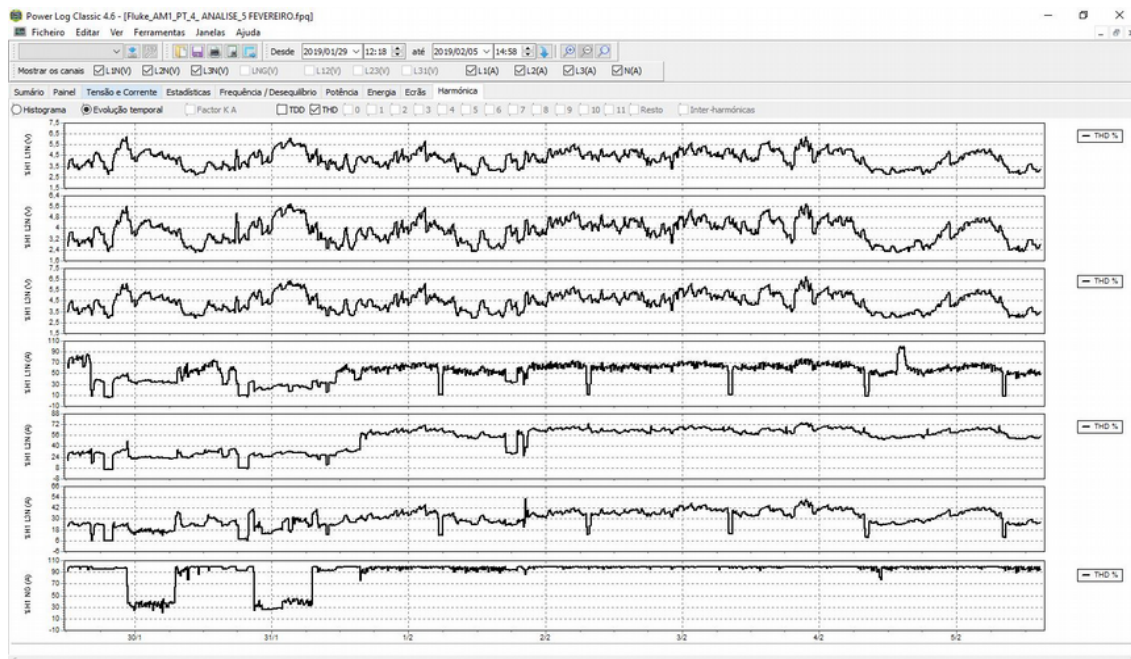


Figura 4.33 – Valor THD no PT4

4.2.7. Análise do posto de transformação PT6

O PT6 foi analisado entre 19 de fevereiro e 1 de março de 2019. Foi registado como valor máximo de potência reativa 0,316 kvar.

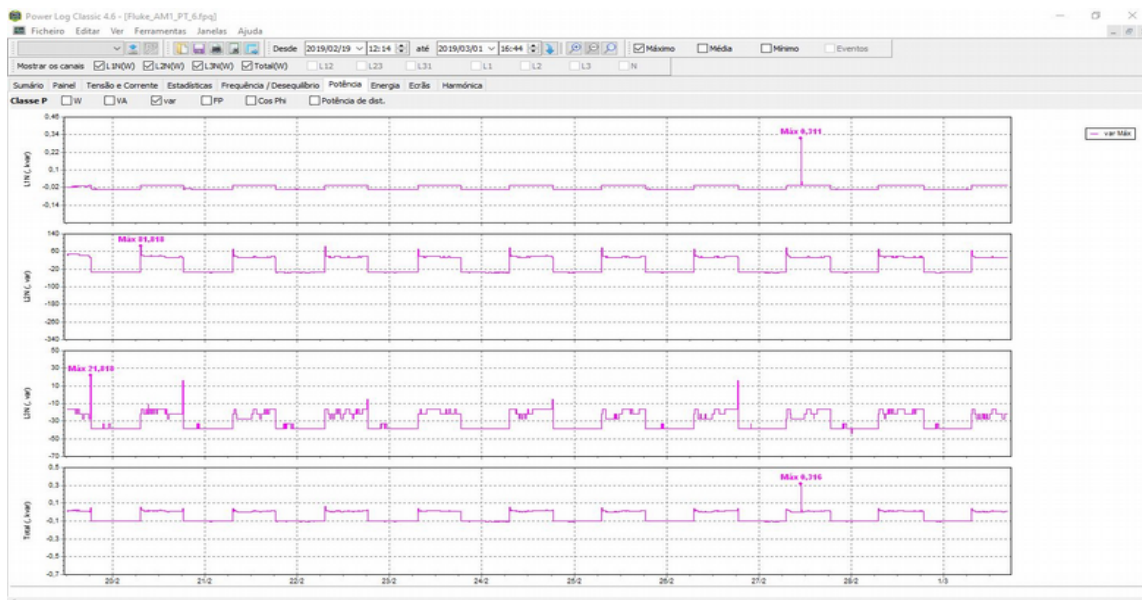


Figura 4.34 – Potência reativa máxima no PT6

O valor máximo do fator de potência foi de 0,987 e o do $\cos \phi$ foi de 0,999.

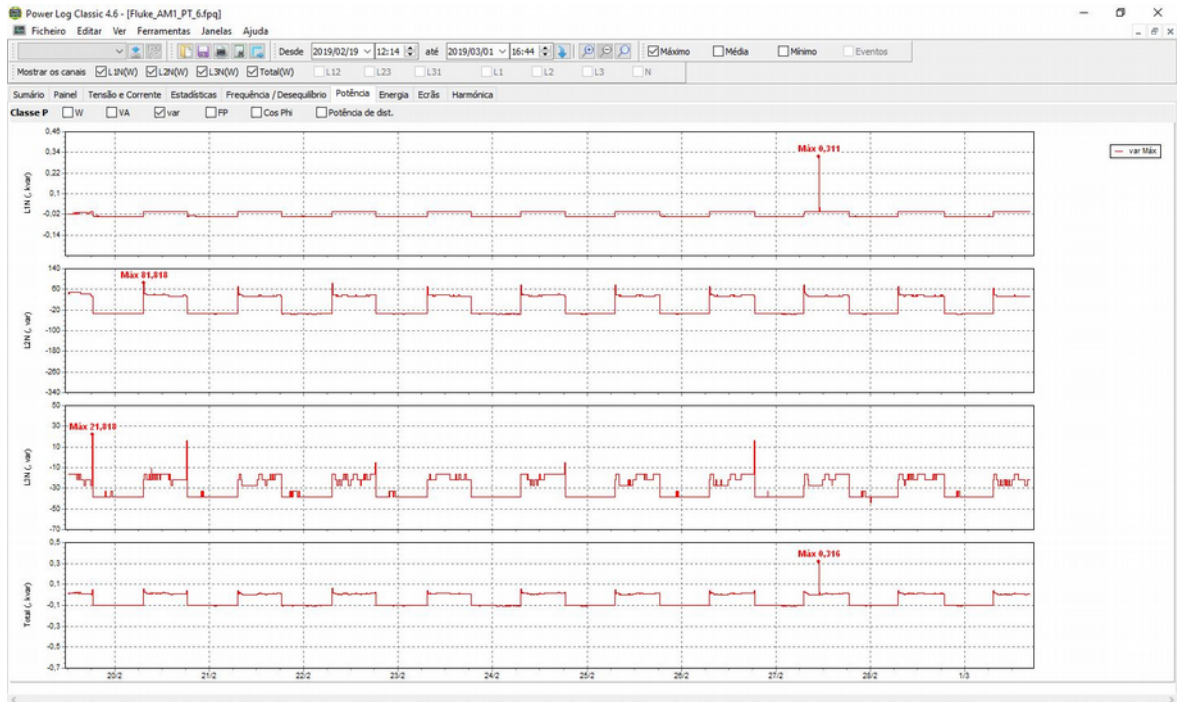


Figura 4.35 – Valor máximo do fator de potência no PT6

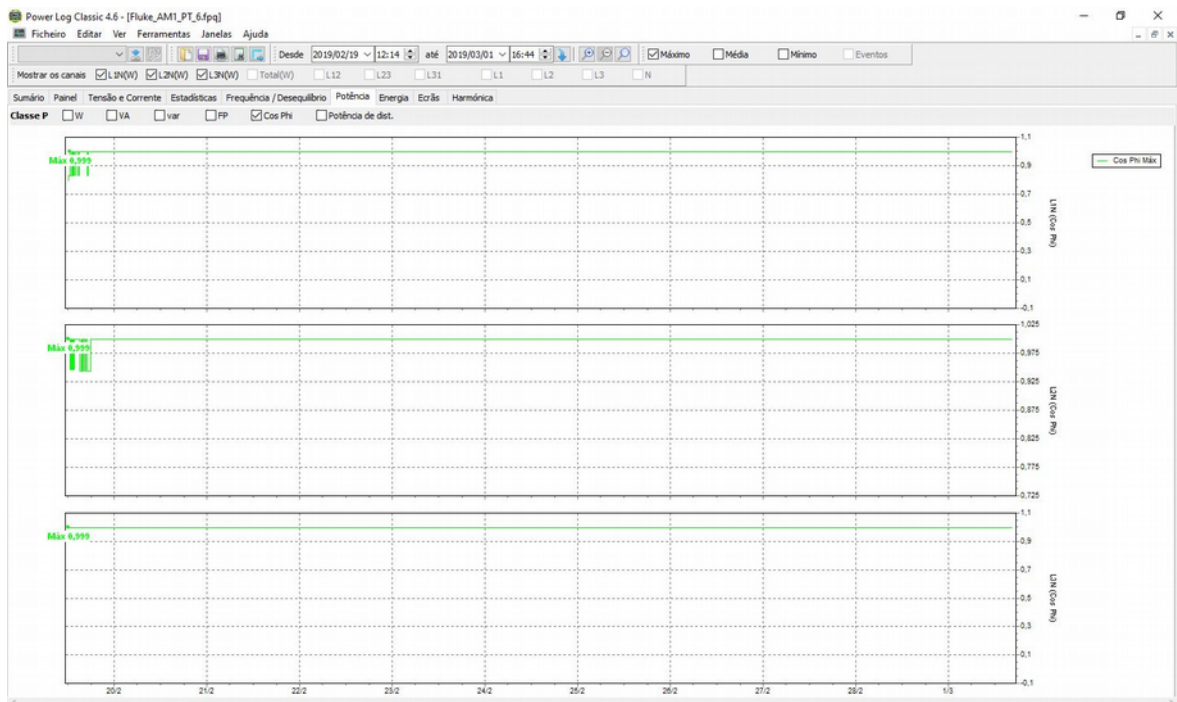


Figura 4.36 - Valor máximo do cos ϕ no PT6

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 5,63% nas fases.

O valor médio THD em corrente nas fases foi de 45,07% e 99,8% no N.

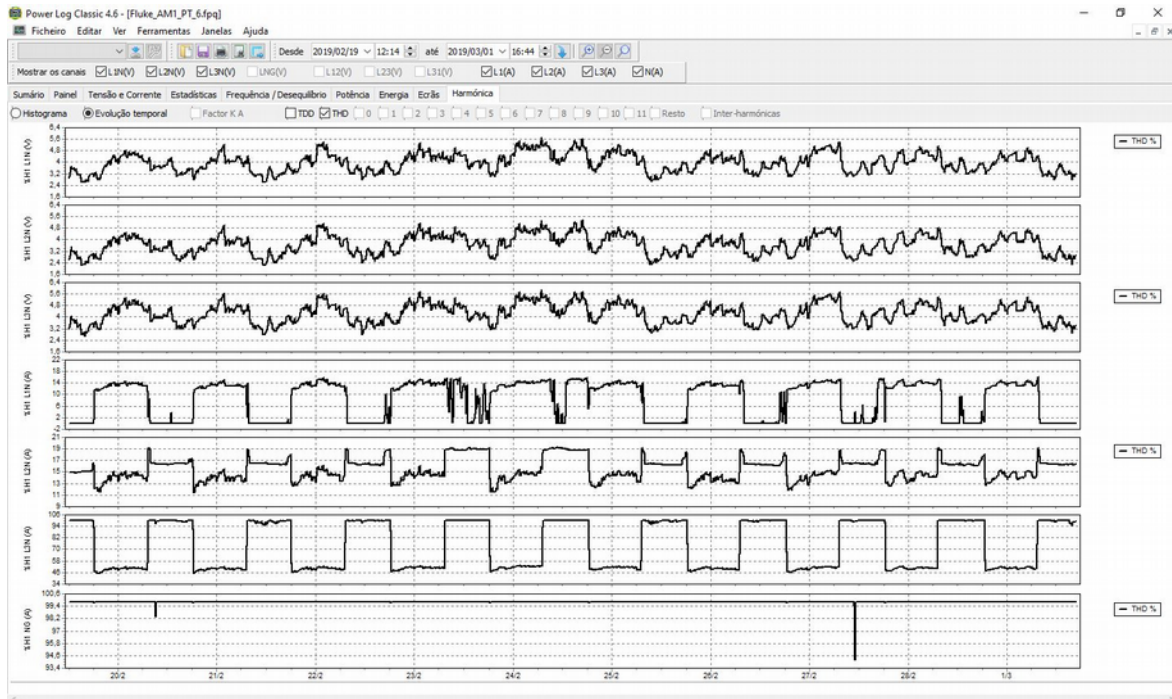


Figura 4.37 – Valor THD no PT6

4.2.8. Análise do posto de transformação PT9

O PT9 foi analisado entre 20 de dezembro de 2018 e 4 de janeiro de 2019. O valor máximo de potência reativa foi de 1,489 kvar.

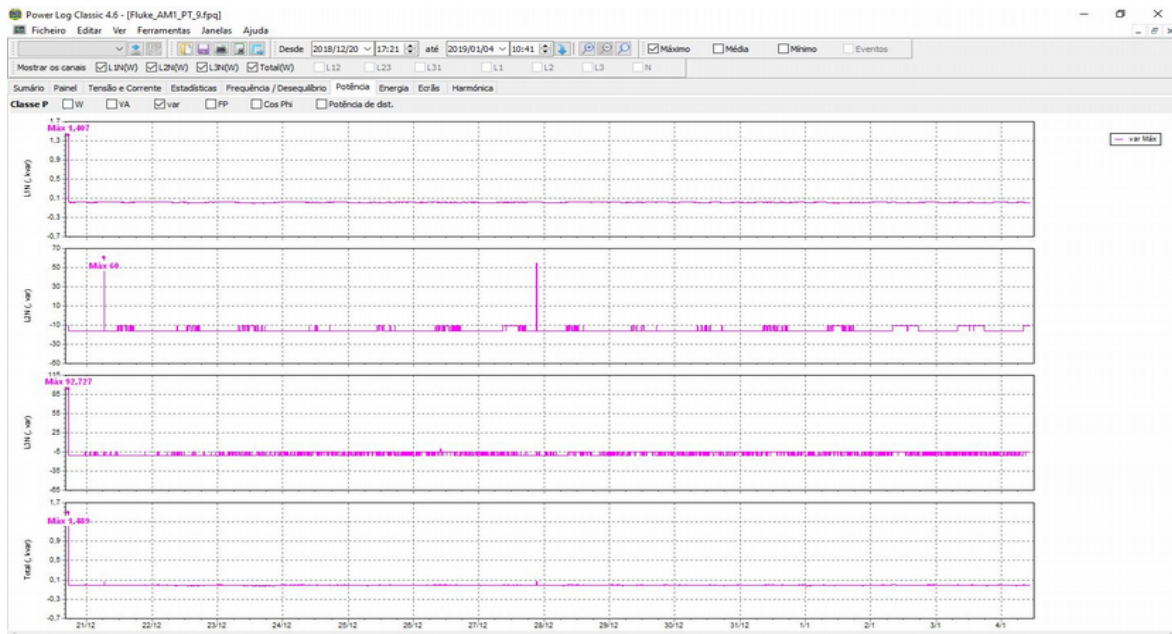


Figura 4.38 – Potência reativa máxima no PT9

O valor máximo do fator de potência e do $\cos \phi$ foi de 0,999.

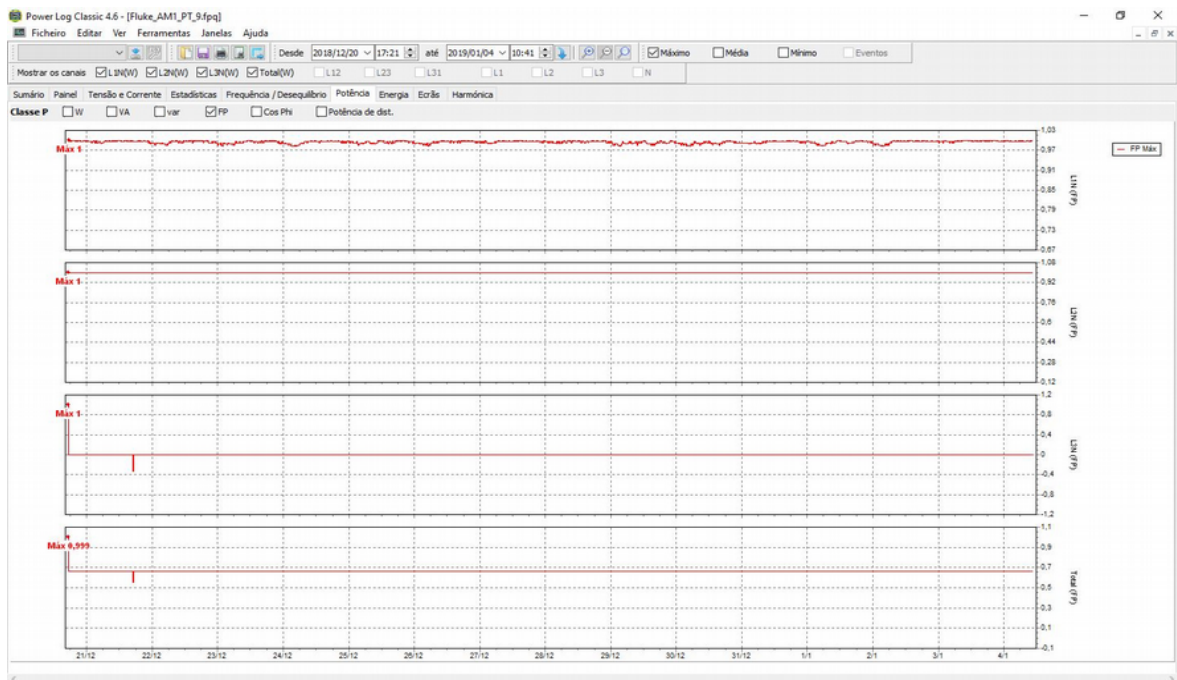


Figura 4.39 – Valor máximo do fator de potência no PT9

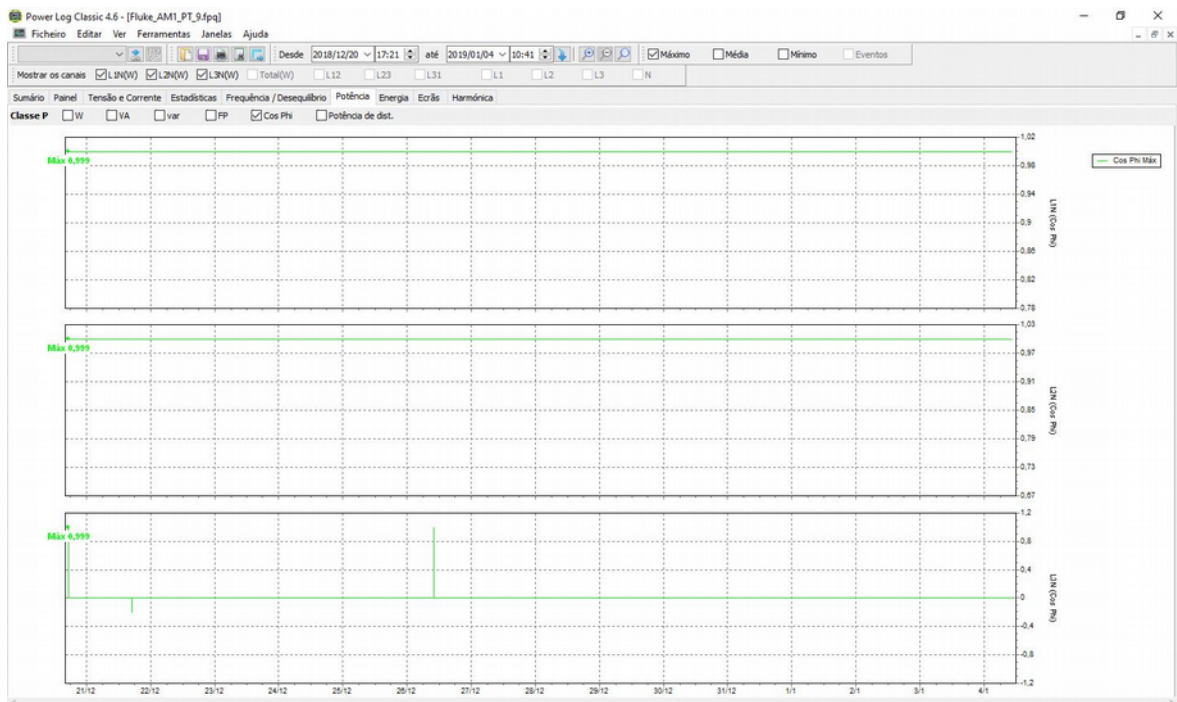


Figura 4.40 – Valor máximo de $\cos \phi$ no PT9

O valor médio de taxa de distorção harmônica total (THD) em tensão é de 6,43% nas fases. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 29,5% e 25,9% no N.

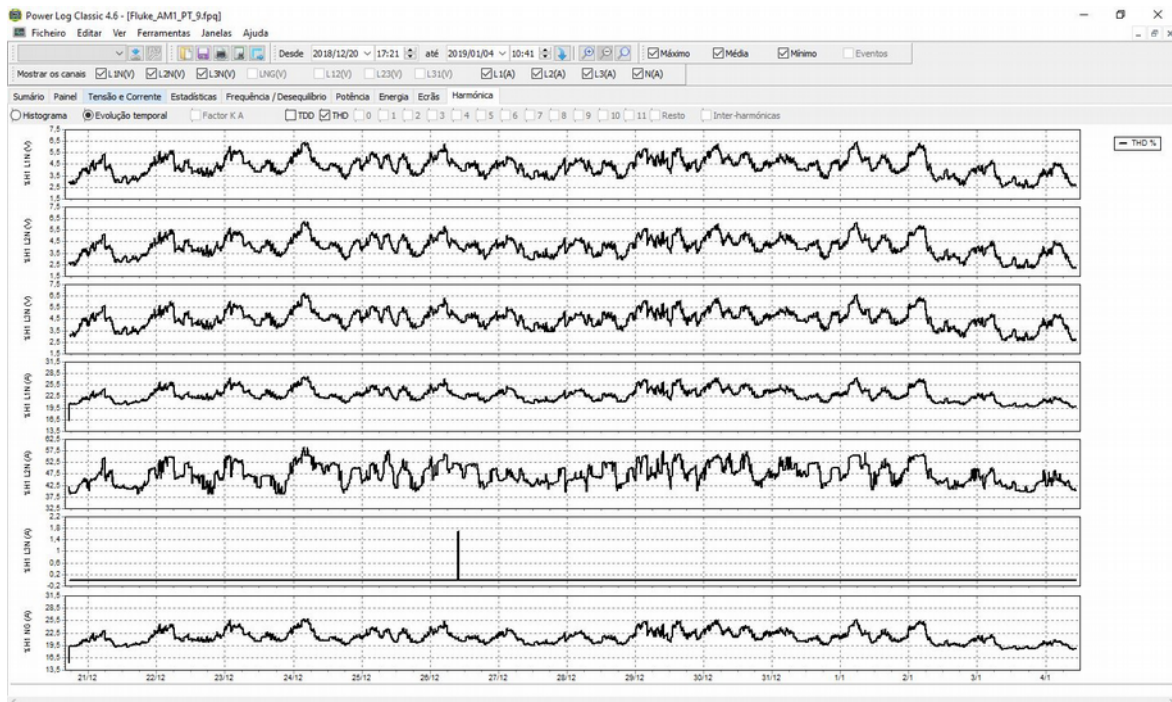


Figura 4.41 – Valor THD no PT9

4.2.9. Análise do posto de transformação PT11

O PT11 foi analisado entre 5 e 19 de fevereiro de 2019. O valor máximo de potência reativa foi de 11,765 kvar.

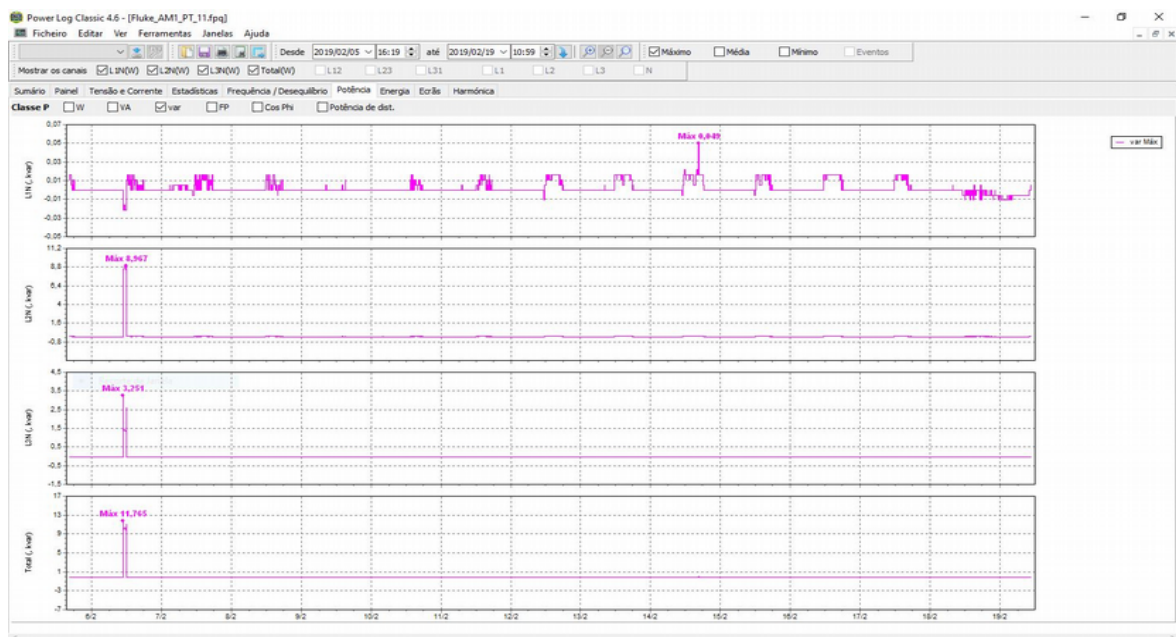


Figura 4.42 – Potência reativa máxima no PT11

O valor máximo do fator de potência foi igual a 1 e do $\cos \varphi$ foi de 0,999.

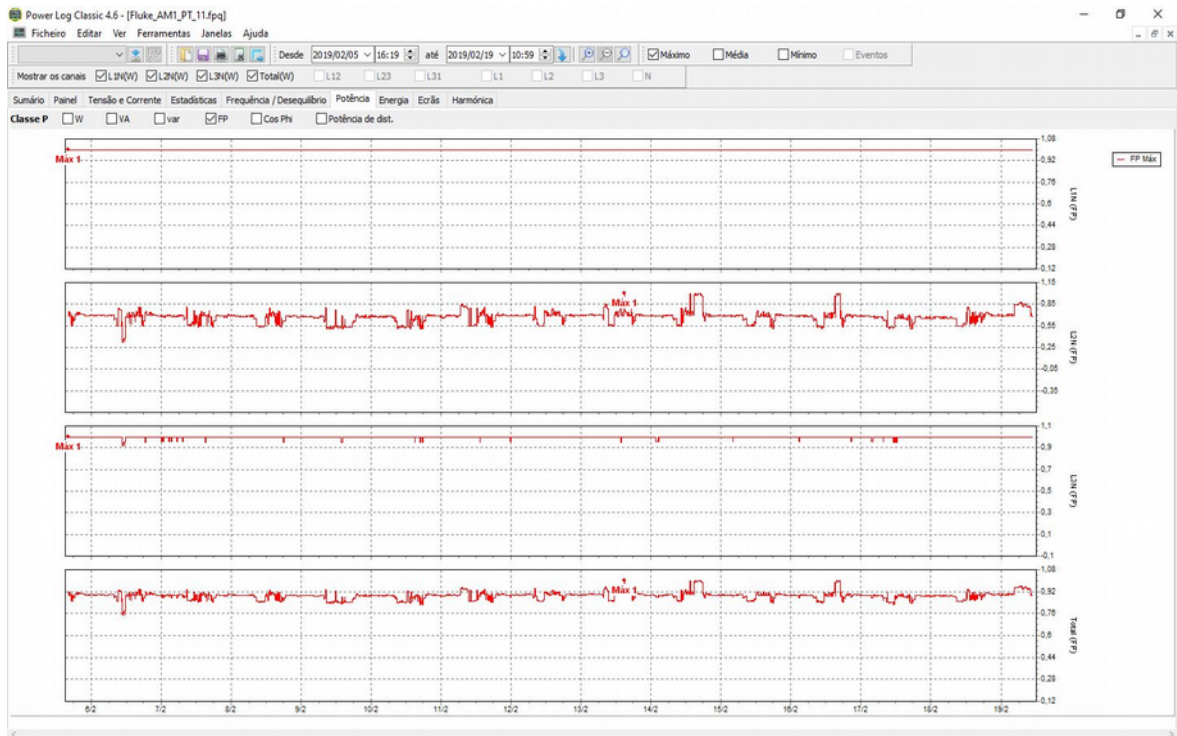


Figura 4.43 - Valor máximo do fator de potência no PT11

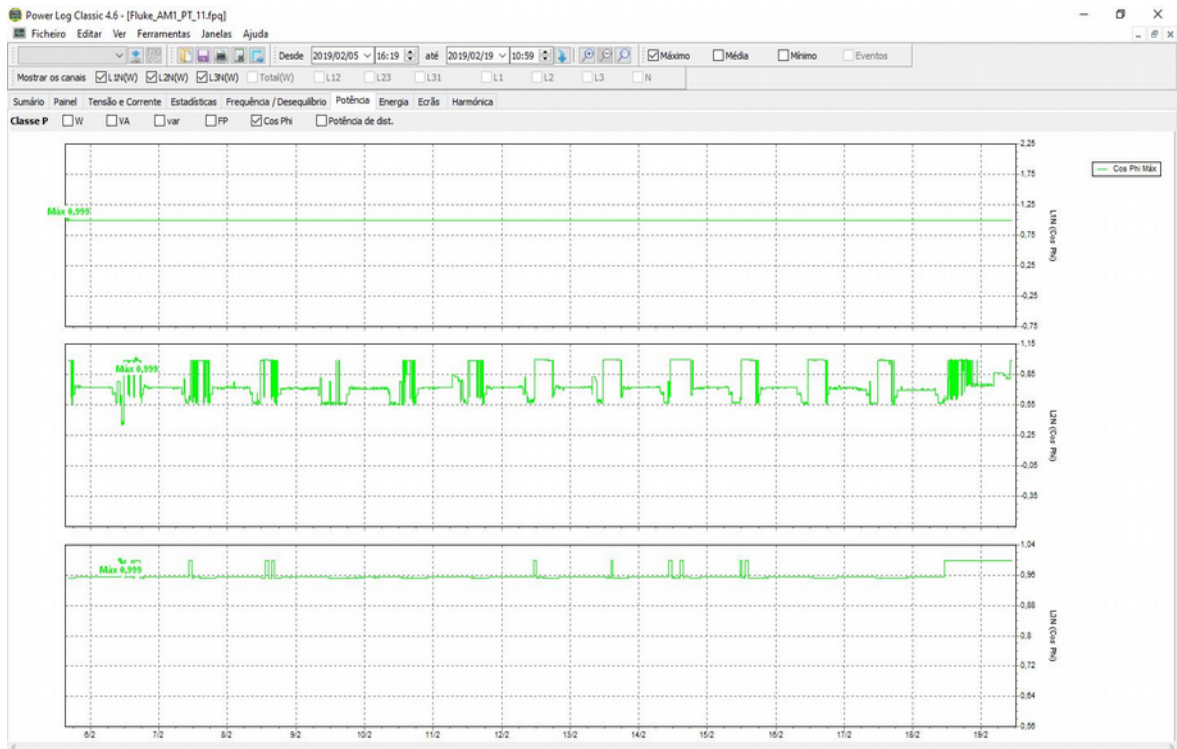


Figura 4.44 - Valor máximo do $\cos \varphi$ no PT11

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 5,5% nas fases. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 41,2% e 61,2% no N.

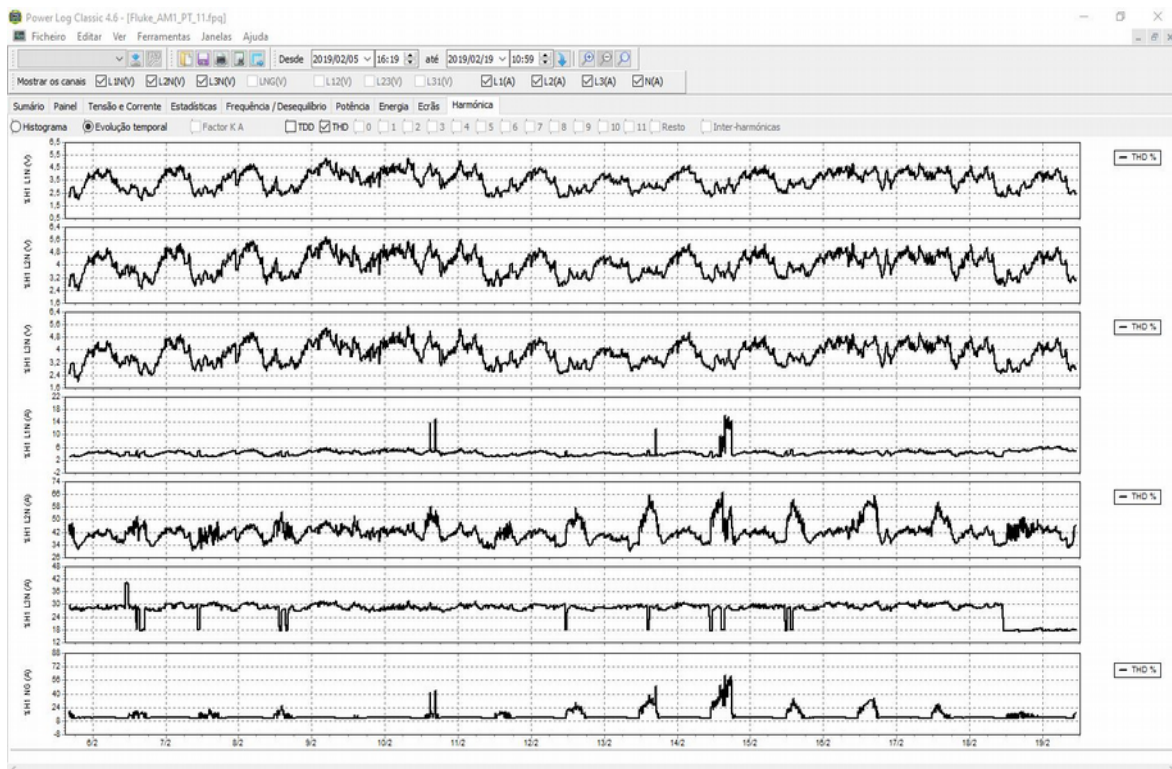


Figura 4.45 – Valor THD no PT11

4.2.10. Análise do posto de transformação PT12

O PT12 foi analisado entre 18 a 27 de janeiro de 2019. O valor máximo de potência reativa foi de 20,1 kvar. O valor máximo do fator de potência foi de 0,72 e do $\cos \phi$ foi de 0,97.

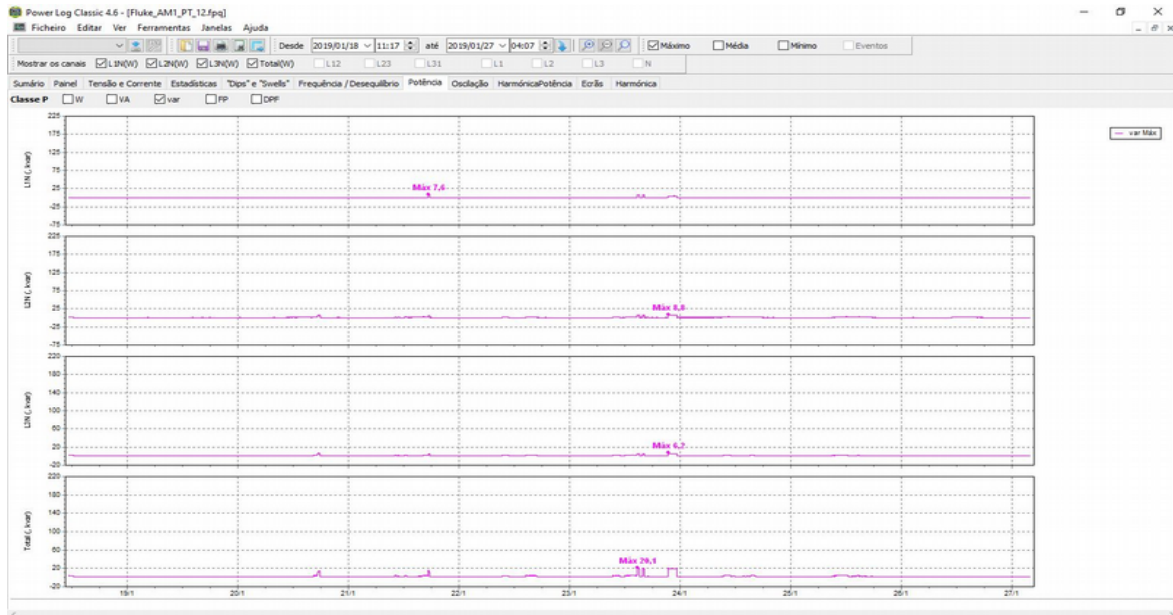


Figura 4.46 – Potência reativa máxima no PT12

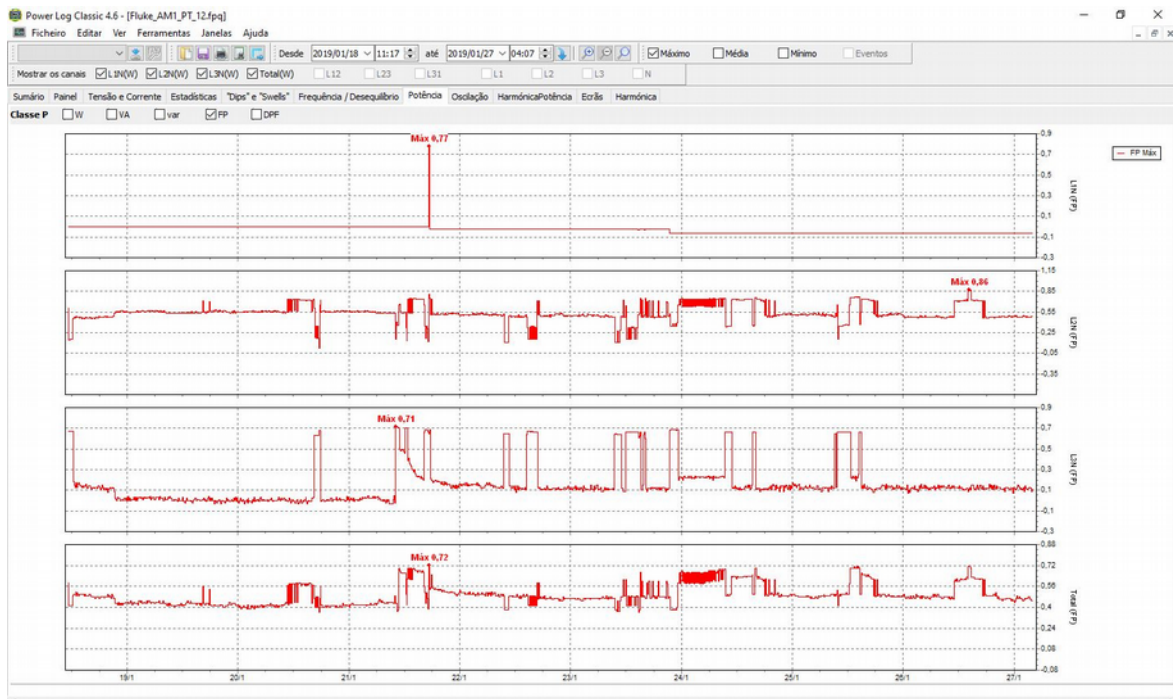


Figura 4.47 - Valor máximo do fator de potência no PT12

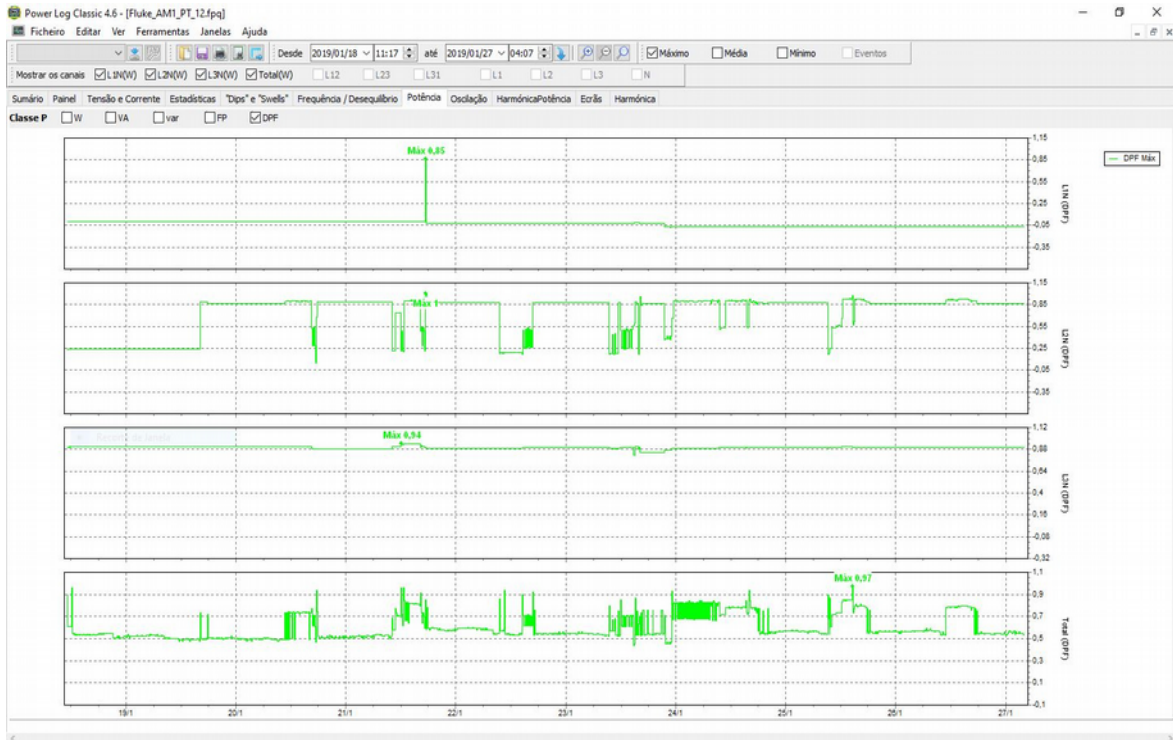


Figura 4.48 - Valor máximo do $\cos \phi$ no PT12

O valor médio de taxa de distorção harmônica total (THD) em tensão é de 7,7% nas fases e 74,81% no N. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 171,24% e 79,78% no N.

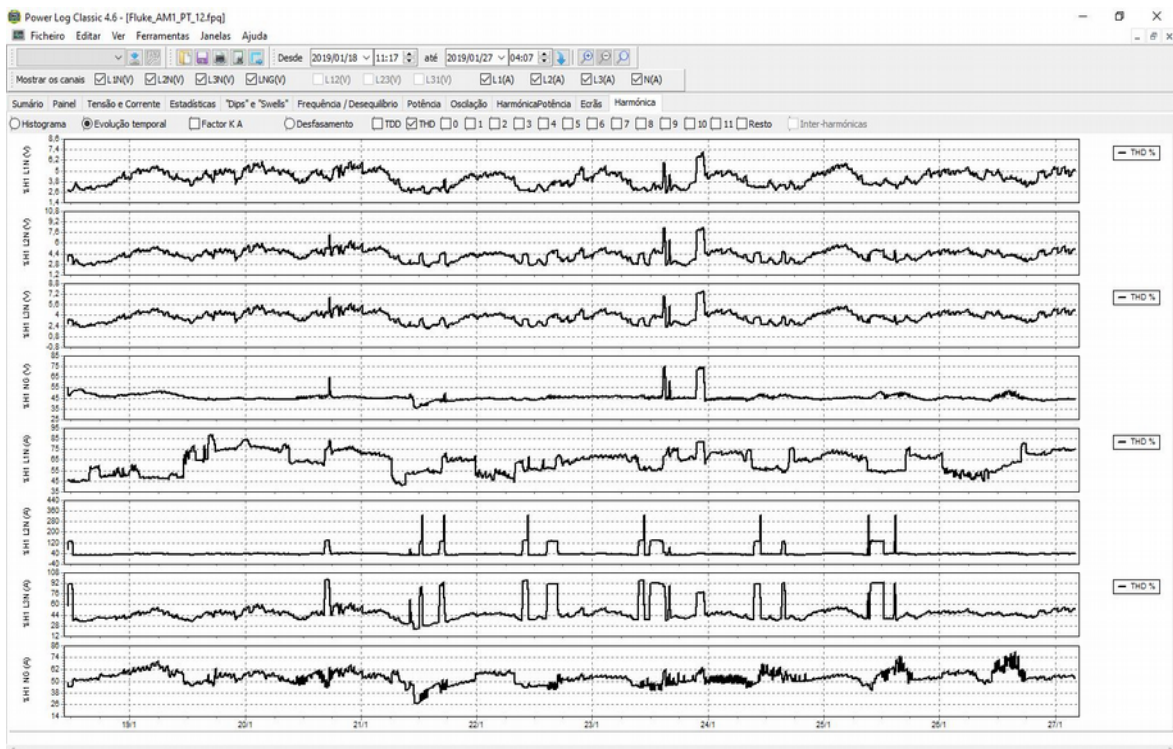


Figura 4.49 – Valor THD no PT12



Figura 4.50 – Componentes harmónicas no PT12

Registaram-se harmónicas de 3.^a, 5.^a, 7.^a, 9.^a e 11.^a ordem, tendo-se verificado que em tensão a que prevalece é a de 7.^a ordem nas fases e a de 3.^a ordem no N e em corrente nas fases e N a de 3.^a ordem.

4.2.11. Análise do posto de transformação PT13

O PT13 foi analisado entre 29 de janeiro e 5 de fevereiro de 2019.

O valor máximo de potência reativa foi de 57,8 kvar. O valor máximo do fator de potência e do $\cos \phi$ foi 1.

O valor médio de taxa de distorção harmónica total (THD) em tensão é de 17,61% nas fases e 49,48% no N. O valor médio THD em corrente nas fases foi de 18,84% e 327,67% no N.

Registaram-se harmónicas de 3.^a, 5.^a, 7.^a, 9.^a e 11.^a ordem, tendo-se verificado que em tensão a que prevalece é a de 7.^a ordem nas fases e a de 3.^a ordem no N e em corrente nas fases a de 5.^a ordem e no N a de 3.^a ordem.

De referir que durante o período de análise foram registados quatro *dips* com duração entre 10 e 200 ms, três deles entre 80 e 90% da tensão nominal e o outro entre 5 e 40% da tensão nominal. Nas figuras seguintes visualizam-se todos estes dados.

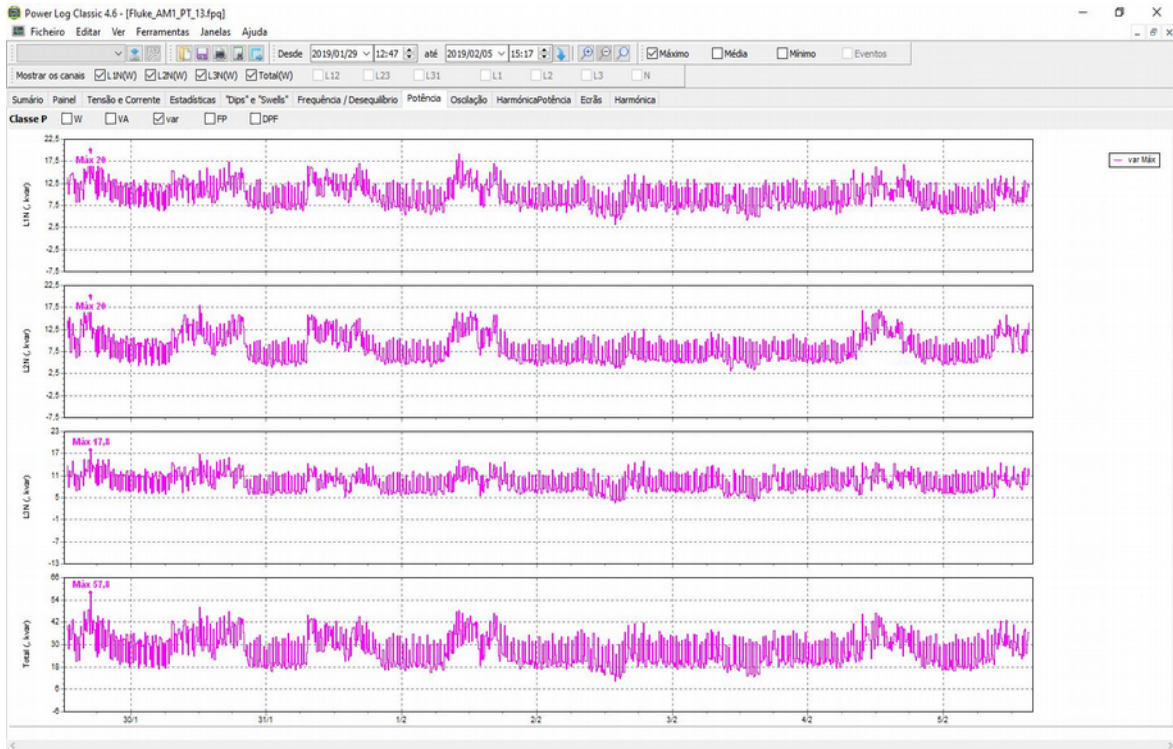


Figura 4.51 – Potência reativa máxima no PT13

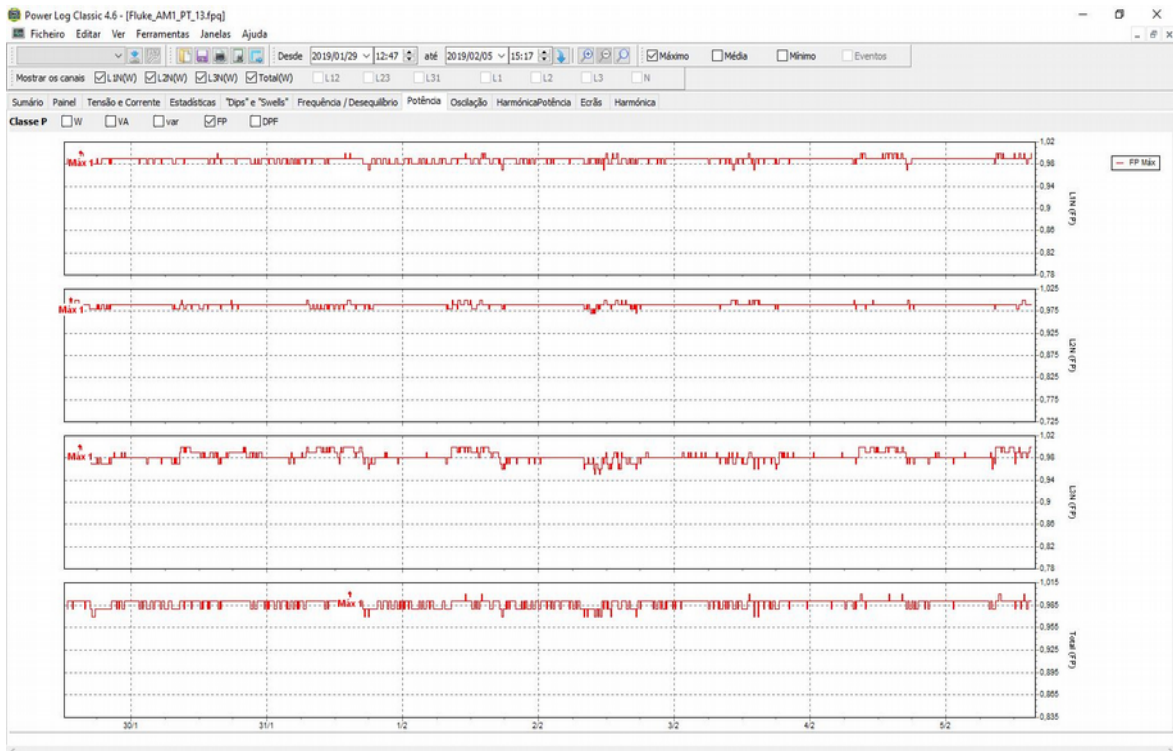


Figura 4.52 - Valor máximo do fator de potência no PT13

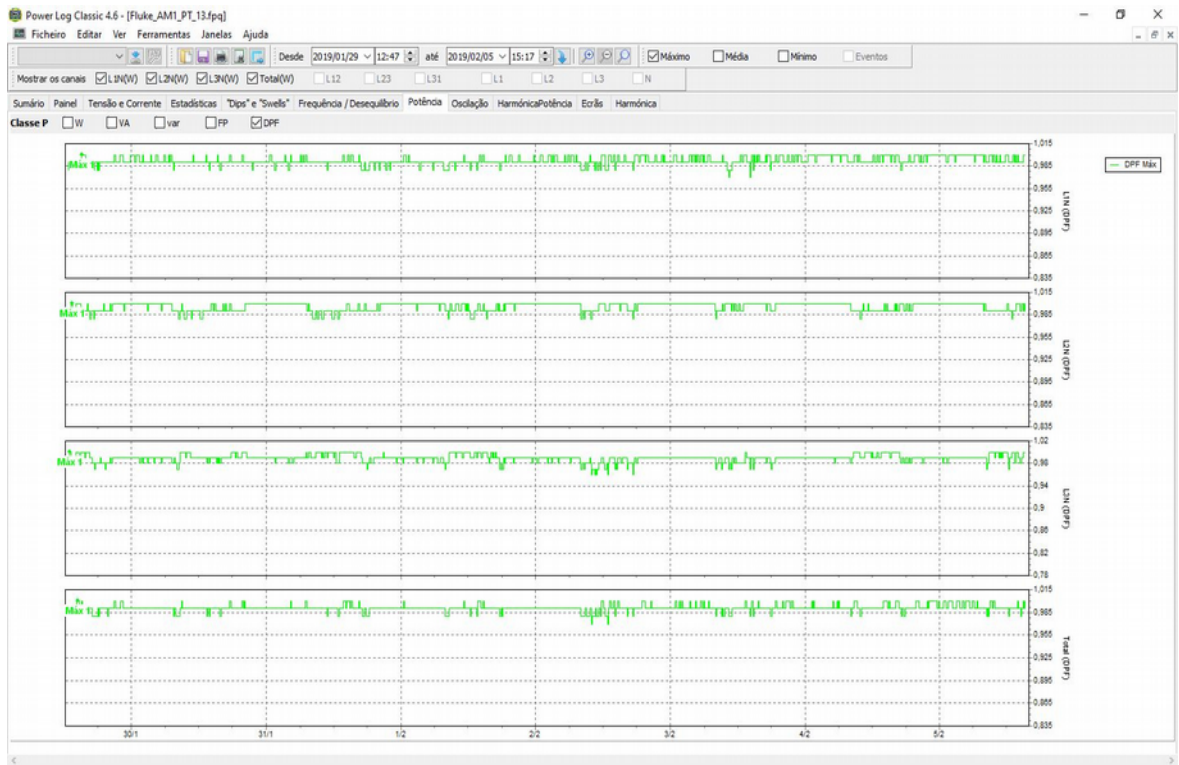


Figura 4.53 - Valor máximo do $\cos \phi$ no PT13

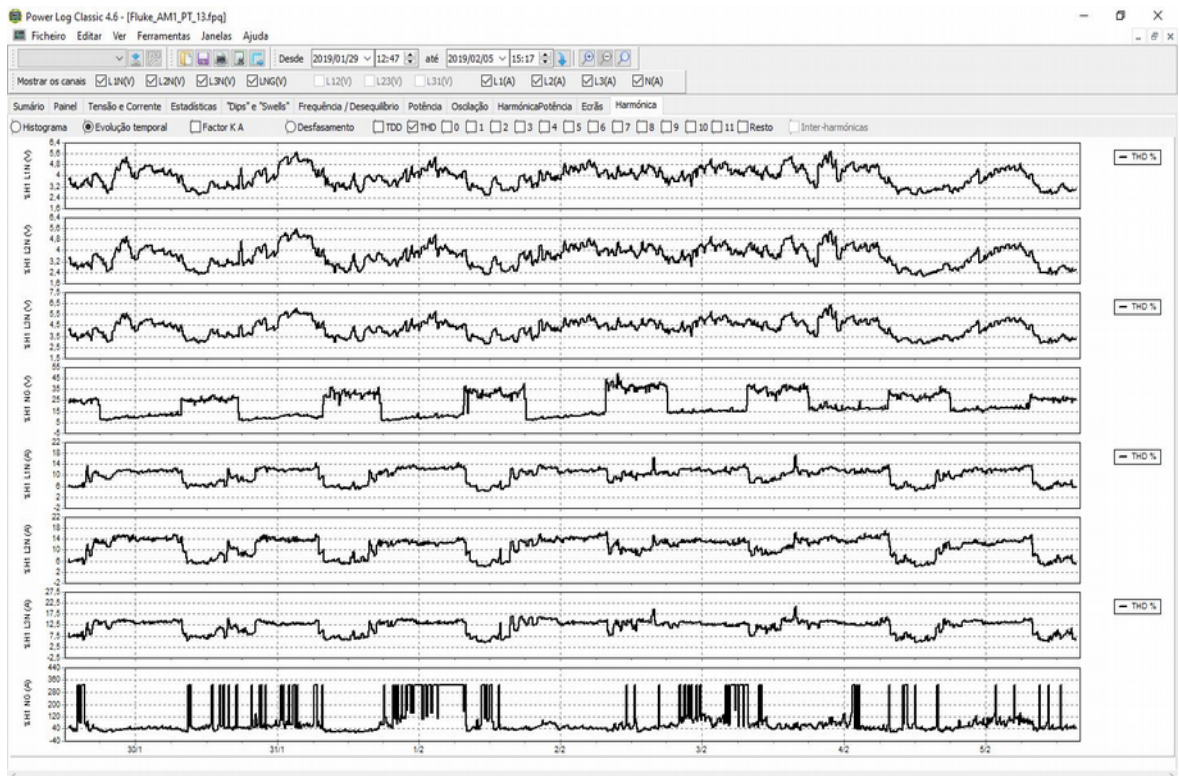


Figura 4.54 – Valor THD no PT13

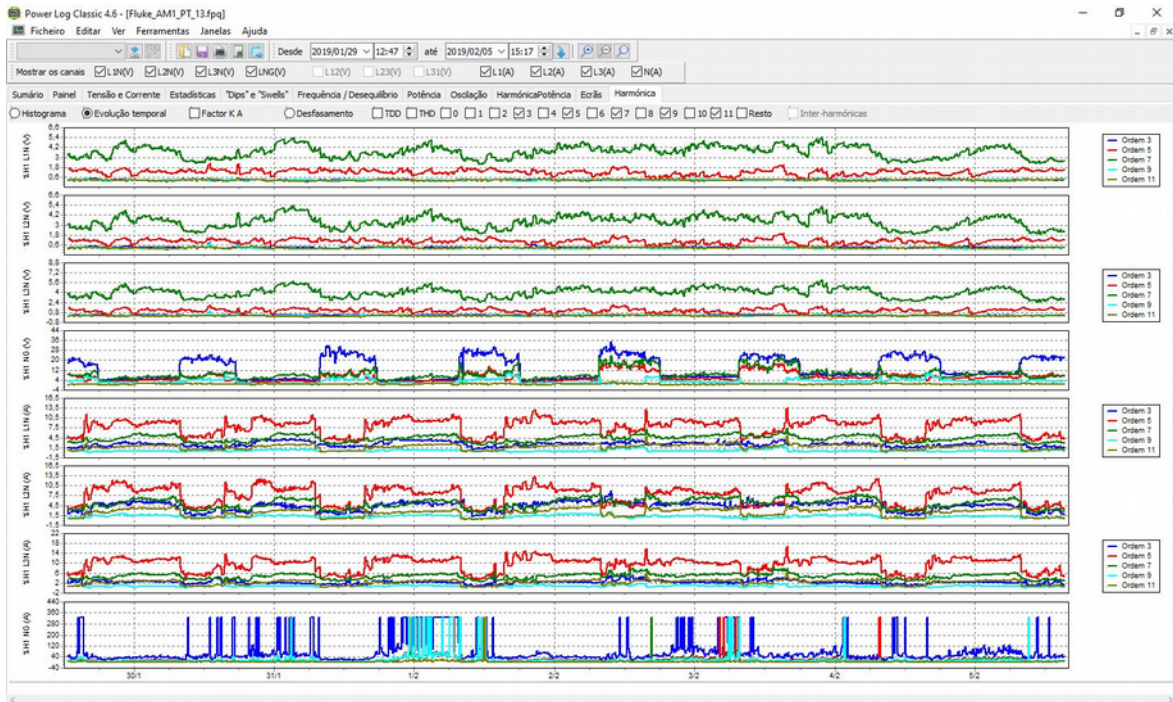


Figura 4.55 – Componentes harmónicas no PT13

4.3. Análise econômica

A aquisição e instalação de Filtros Ativos como compensação dinâmica do fator de potência e para eliminação das componentes harmônicas em vários PTs implica um investimento em equipamento e em mão de obra que deve ser bem avaliado.

Assim, em equipamento necessário a instalar nos PTs identificados para incluírem os Filtros Ativos teremos:

Tabela 4.5 – Custo dos Filtros Ativos a instalar [33]

PT	Descrição	Código	Quant.	Pr. Liq.Unitário
PT1	ACTIVEmatic FA44 W 60 A - 4 FIOS	FA44W060XXA0000	1 Un.	9.000,00 €
PT2	ACTIVEmatic FA44 W 60 A - 4 FIOS	FA44W060XXA0000	1 Un.	9.000,00 €
PT3	ACTIVEmatic FA44 W 60 A - 4 FIOS	FA44W060XXA0000	1 Un.	9.000,00 €
PT4	ACTIVEmatic FA44 W 120 A - 4 FIOS	FA44W120XXA0000	1 Un.	16.870,00 €
PT13	ACTIVEmatic FA44 W 120 A - 4 FIOS	FA44W120XXA0000	1 Un.	16.870,00 €
PREÇO TOTAL				60.740,00 €

É necessário considerar, tal como já indicado, três transformadores de intensidade (TIs) e cabo para alimentação dos FA. Assim, o custo deste equipamento será:

Tabela 4.6 – Custo dos TIs e cabo [34]

Código	Quant.	Pr. Liq.Unit.	Pr. Liq.Total
Cabo de alimentação do FA	50 m	56,50 €	2.825,00 €
Transformadores de intensidade de núcleo aberto	15 Un.	125,00 €	1.875,00 €
PREÇO TOTAL			4.700,00 €

A mão de obra, havendo na Infraestrutura Aeronáutica um departamento técnico de eletricidade e manutenção, pressupõe-se que haverá disponibilidade interna para efetuar o

trabalho de instalação do equipamento, não havendo necessidade de contratar o serviço de instalação de modo a não onerar este investimento.

Teremos então um investimento total de cerca de **65.440,00 € + IVA**.

4.4. Análise da fatura de energia elétrica

Analisando as faturas de eletricidade disponibilizadas, a Infraestrutura Aeronáutica AM1 de Maceda tem um contrato em AT, com ciclo horário semanal com feriados.

Os valores de maior consumo em energia ativa registam-se durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril.

Relativamente à energia reativa, verifica-se que nunca ocorre registo de energia reativa indutiva, apenas energia reativa capacitiva. Esta energia é paga no período de vazio, horas vazio normal (VN) e super vazio (SV). A energia reativa capacitiva é aquela que é fornecida no vazio à rede.

O valor das faturas mostra que a energia reativa capacitiva, fornecida no vazio é significativo e nos meses de maio e junho apresenta valores mais elevados, no entanto, o valor é sempre elevado e merece especial atenção.

Fazendo uma comparação entre faturas de 2018 e 2019 em meses homólogos confirma-se que houve aumento de energia reativa fornecida no vazio.

Como exemplo, no mês de janeiro de 2018 o registo de reativa fornecida no vazio foi de 27.388 kvarh, enquanto que em janeiro de 2019 o valor registado foi de 28.747 kvarh.

Tabela 4.7 – Consumos de energia e potência em janeiro de 2019 [35]

Janeiro 2019				
Registo do consumo de energia ativa (kWh)		Registo de energia reativa fornecida no vazio (kvarh)	Potência contratada (kW/dia)	Potência média nas horas de ponta (kW/dia)
P+CH	VN+SV			
88.831,00	55.198,00	28.747,00	353,00	221,92

Como se pode verificar, a energia reativa capacitiva é muito significativa. Sendo o preço da energia reativa fornecida em vazio de 0,0171 €/ kvarh em 2019, para este mês de janeiro de 2019 o valor total é de 491,57 €. Mas o mês de junho de 2019 registou um valor ainda mais elevado, de 31.724 kvarh, o que implicou um custo de energia reativa fornecida no vazio de 542,48 €.

Relativamente à energia ativa, para o mês de janeiro de 2019 o valor de fatura referente a energia ativa é de cerca de 3.970,89 €.

4.5. Cálculo do *Payback*

Após análise das faturas de energia elétrica disponibilizadas conclui-se que o pagamento médio mensal é de cerca de 10.200 €. Tendo em consideração o que já foi dito sobre a redução na fatura, sendo adotadas as medidas preconizadas por este estudo, teríamos uma redução de cerca de 2.040 € mensalmente, o que significa que anualmente seriam 24.480 €. Assim, teremos então que:

Tabela 4.8 – *Payback* do investimento

INVESTIMENTO TOTAL EM EQUIPAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO COM FILTROS ATIVOS	REDUÇÃO DE FATURA ANUALMENTE	PAYBACK
65.440,00 €	24.480,00 €	2,7 ANOS

4.6. Conclusão

A análise efetuada mediante analisadores de rede da marca FLUKE e através do tratamento dos dados registados pelo software POWER LOGIC, permitiu identificar vários problemas na Infraestrutura Aeronáutica da Base Aérea de Maceda AM1, nomeadamente, energia reativa fornecida no vazio, a existência de transformadores em vazio, funcionamento de cabos de MT em vazio e componentes harmónicas na instalação.

Concluiu-se que mediante a implementação Filtros Ativos em vários PTs, serão solucionados os problemas identificados. Filtros Ativos de 4 fios, de 60 A e de 120 A, da marca ICAR by ORTEA NEXT, da série ACTIVEmatic FA40.

Este equipamento utiliza tecnologia baseada na topologia de três níveis tipo NPC, o qual permite reduzir perdas e ter valores reduzidos de *ripple* na saída. Garante a compensação de componentes harmónicas até à 50ª ordem, melhora o fator de potência e tem um tempo de resposta muito rápido, permitindo também fazer compensação do *flicker*.

Esta página foi deixada em branco propositadamente

5. Conclusões

A Força Aérea propõe-se reduzir os custos de sustentação da infraestrutura aeronáutica, otimizando o consumo energético, pelo que, foi já realizado um estudo e consequente implementação de iluminação mais eficiente com tecnologia LED. No entanto, havia já uma tendência da Unidade em fornecer Energia Reativa à Rede de Distribuição, pelo que se tornou necessário efetuar um estudo sobre o impacto que a iluminação LED terá em termos de Energia Reativa.

Assim, este Estudo foi elaborado com o objetivo de quantificar e identificar a energia reativa, capacitiva que esta instalação fornece à Rede de Distribuição.

Foi então efetuada uma análise à instalação, tendo sido utilizados dois analisadores de redes, da marca FLUKE, para medir e registar os vários parâmetros elétricos nos Postos de Transformação (PTs) desta Unidade da Força Aérea. Posteriormente os dados foram tratados mediante a utilização do software POWER LOGIC.

Foram efetuados os seguintes trabalhos:

- Identificação de instalações alimentadas por cada Posto de Transformação (PT) e suas potências;
- Análise por PT da Energia Reativa, de forma a isolar cada PT do restante anel da Unidade com o objetivo de identificar as possíveis fontes e a quantificar a Energia Reativa por PT e o seu tipo (indutiva ou capacitiva);
- Análise na Subestação da energia reativa;
- Estudo, após a análise dos valores por cada PT e na Subestação, para identificar se compensa corrigir localmente (por PT ou mesmo por edifício caso se encontrem os equipamentos que originam a energia reativa) ou de forma global na Subestação.
- Identificação de Soluções com o respetivo estudo económico e impacte ambiental. [1]

Além das análises efetuadas com o equipamento supracitado, foram também efetuados cálculos sobre a energia reativa capacitiva injetada pelos cabos de MT, os quais representam no total um elevado valor de carga capacitiva, traduzindo-se num valor de energia reativa fornecida no vazio à rede bastante elevado, como se pode verificar na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valores de potência e energia reativa registados e calculados

	POTENCIA REATIVA (kvar)		ENERGIA REATIVA (kvarh)		PREÇO EN.REATIVA	
	Fora Vazio (C+P)	Vazio (VN+SV)	Horas F.Vazio	Horas Vazio	INDUT. (€/kvarh)	CAPAC. (€/kvarh)
SUBESTAÇÃO	13,20	4,43	402,00	318,00	0,0228	0,0171
PT1 antes LED	61,71	27,09	5 306,40	1 408,74	120,99	24,09
PT1 após LED	260,20	46,20	24 807,42	8 615,57	565,61	147,33
PT2	27,43	-0,19	104 600,40	14 691,60	2 384,89	251,23
PT3	30,50	7,70	11 026,86	-58,83	251,41	-1,01
PT4	164,27	1,32	12 261,00	2 448,60	279,55	41,87
PT6	0,32	-0,10	66 036,54	418,17	1 505,63	7,15
PT9	1,49	0,07	127,03	-33,07	2,90	-0,57
PT11	11,77	-0,18	598,58	20,67	13,65	0,35
PT12	20,10	2,10	4 731,54	-55,65	107,88	-0,95
PT13	57,80	36,80	8 080,20	667,80	184,23	11,42
TOTAIS	648,79	125,24	23 235,60	11 702,40	529,77	200,11
	CAPACIDADE (µF)	POTENCIA REATIVA CAPACITIVA_CABOS (kvar)	EN.REATIVA Horas Vazio 318,00	PREÇO EN.REATIVA CAPAC. (€/kvarh) 0,0171		
SUBEST.-PT1	0,48	11,30	3 593,40	61,45		
PT1-PT2	0,10	2,30	731,40	12,51		
PT2-PT4	1,03	24,20	7 695,60	131,59		
PT4-PT6	0,79	18,60	5 914,80	101,14		
PT6-PT9	0,62	14,60	4 642,80	79,4		
SUBEST.-PT7	0,66	15,60	4 960,80	84,83		
PT4-PT12	0,28	6,60	2 098,80	35,89		
PT4-PT5	0,50	11,80	3 752,40	64,17		
PT5-PT13	0,30	7,10	2 257,80	38,61		
PT13-PT3	0,64	15,10	4 801,80	82,11		
PT3-SUBEST.	1,38	32,50	10 335,00	176,73		
PT7-PT11	0,28	6,60	2 098,80	35,89		
TOTAIS	7,06	166,30	49 131,00	904,31		

O valor obtido por cálculo é superior ao valor registado pelo equipamento de análise e pela fatura de energia elétrica mensal porque é necessário descontar a potência reativa indutiva, e consequente energia reativa indutiva, que os transformadores de potência em vazio comportam, fazendo com que o valor seja atenuado e seja pago um valor de energia reativa capacitiva não tão elevado, mas ainda assim muito significativo mensalmente.

Havendo circulação de reativa na rede, mesmo com a instalação em regime de carga muito baixo, haverá sempre consumo de energia ativa devido às perdas por efeito de Joule ($P=RI^2$).

Ocorre um maior consumo de energia ativa devido às perdas provocadas pela circulação de reativa e a energia ativa paga-se continuamente, quer no período de fora de vazão, quer no período de vazão. No período de fora de vazão o valor é muito mais dispendioso do que no período de vazão.

Mediante as análises aos vários PTs e Subestação conclui-se que:

- houve aumento de energia reativa capacitiva após a instalação de iluminação LED;
- após a implementação da iluminação LED houve um incremento das componentes harmônicas, sobretudo na THD em corrente, quer nas fases, quer no neutro.

Perante esta análise a solução que apresenta maior fiabilidade, tendo em consideração o Estado da Arte, é a instalação de vários Filtros Ativos nos PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5.

Com esta solução iremos efetuar a compensação da energia reativa capacitiva e a compensação das componentes harmônicas.

Além disso, colocando fora de serviço os PT5 e PT7, sendo apenas ligados quando estritamente necessário, iremos colocar sem tensão os cabos de MT de interligação desses PT diminuindo as perdas ativas. Por consequência, teremos uma redução do valor de energia ativa e reativa na fatura de energia elétrica, o qual deverá ser de cerca de 20 a 30%.

Com todas as soluções implementadas, a Força Aérea, através desta Infraestrutura Aeronáutica tornar-se-á mais eficiente e irá contribuir para a redução da emissão de GEE e ter assim uma boa prestação contribuindo para a concretização dos objetivos do Acordo de Paris.

5.1. Recomendações

5.1.1. Medidas de eficiência energética na infraestrutura aeronáutica AM1

Edifícios energeticamente eficientes, processos industriais e de transporte mais eficientes podem contribuir para reduzir as necessidades energéticas a nível global para que se consiga atingir os objetivos de redução de consumos e das emissões globais de gases por efeito estufa (GEE), de acordo com a Agência Internacional de Energia. [36]

A adoção de soluções ou medidas eficientemente energéticas são necessárias também para a Infraestrutura Aeronáutica da Base Aérea de Maceda AM1, tendo em vista o cumprimento dos objetivos a nível de redução de consumos de energia e de diminuição da emissão de gases por efeito de estufa (GEE).

Como medidas que podem ser tomadas com o intuito de se atingir estes objetivos recomenda-se:

- Desligar os transformadores de potência dos PTs 5 e 7, os quais estão atualmente em vazio, tendo em vista a redução das perdas ativas e do pagamento de energia reativa capacitiva, fornecida no vazio à rede. As perdas por efeito de Joule nos transformadores em vazio refletem-se na energia ativa paga mensalmente ($P=RI^2$).
- Ao colocar os transformadores fora de serviço, os cabos de MT ficam sem tensão, (atualmente representam uma carga reativa capacitiva elevada pelo facto do consumo ser muito baixo, estando os transformadores em vazio), permitindo minimizar as perdas nos transformadores, o que implicará uma redução na fatura de energia elétrica de cerca de 20 a 30% mensalmente.
- A utilização e instalação de equipamento apropriado, nomeadamente de Filtros Ativos nos PT1, PT2, PT3, PT4 e PT13 permitirá compensar a energia reativa capacitiva e reduzir significativamente o valor da taxa de distorção harmónica registada nas fases e neutro, conseqüentemente reduzir-se-á também o valor da fatura de energia elétrica porque a presença de correntes harmónicas representa perdas ativas repercutidas no pagamento de energia ativa na fatura

5.1.2. Desenvolvimentos futuros

De modo a seguir os objetivos de eficiência e redução de consumos, aconselha-se como análise futura o estudo dos Cabos de BT, os quais não foram tratados neste estudo.

Seria também interessante o estudo sobre a possibilidade de instalação de um sistema Fotovoltaico, em regime de Autoconsumo para os PTs de menor consumo. Como sugestão, sugere-se a consulta do site ECO.AP onde está disponível a calculadora solar fotovoltaico.
[37]

Esta página foi deixada em branco propositadamente

Documentação bibliográfica

[1] Tema de Dissertação de Mestrado - “Eficiência da Rede Elétrica da Unidade – estudo de caso no domínio da Energia Reativa de uma Unidade da Força Aérea”. Autor: Coronel Professor Doutor Carlos Páscoa. ISEP, ano letivo: 2018/ 2019

[2] Aeródromo de Manobra N.º 1 – Força Aérea Portuguesa. [Online]. Available: www.emfa.pt/unidade-22-aerodromo-de-manobra-n-1. [Accessed: 09/10/2018]

[3] “United in Science Report”. [Online]. Available:

<https://public.wmo.int/en/media/press-release/landmark-united-science-report-informs-climate-action-summit> [Accessed: 24/09/2019]

[4] Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2015

[5] Infografia – “Climate Change; The EU is delivering on the Paris Agreement”. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/greenhouse-gas-reduction/> [Accessed: 24/09/2019].

[6] ERSE, Recomendação n.º 1/2010 – informação sobre Faturação de Energia Reativa. Despacho n.º 7253/2010 de 26 de Abril.

[7] <https://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/Pages/tarifasHorarios.aspx> [Accessed: 04/09/2019].

[8] ERSE, “Regulamento das Relações Comerciais”, secção IV.

[9] Diretiva n.º 5/2019, “Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2019.

[10] ERSE, “Períodos Horários”. [Online]. Available: www.erse.pt [Accessed: 04/09/2019].

[11] “APA - Quadro Estratégico para a Política Climática” (QEPiC) – componentes”. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/> [Accessed: 04/09/2019].

[12] “Programa LIFE 2014-2020”. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=160&sub2ref=1021> [Accessed: 04/09/2019].

[13] Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1545768/> [Accessed: 08/08/2019].

[14] Kaibalya Prasad Panda, Soumyakanta Samantaray, Sreyasee Rout, “Prototype design of power factor correction circuit for transmission lines using Thyristor switched capacitor scheme”, Department of Electrical Engineering, C. V. Raman College of Engineering Bhubaneswar, Odisha, India, 752054, (Received May 11 2016, Accepted September 07 2017).

[15] “A Review of Active Filters for Power Quality Improvement”, Bhim Singh, Kamal Al-Haddad, *Senior Member, IEEE*, and Amrisha Chandra, *Member, IEEE*.

[16] “Eficiência Energética”. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Eficiência_energética [Accessed: 08/08/2019].

[17] “Programa Eficiência Energética na Administração Pública” “ECO.AP”. [Online]. Available: <https://ecoap.pnaee.pt/> [Accessed: 08/08/2019].

[18] “Electrical Installation Guide 2018”, capítulo N-Characteristics of particular sources and loads, pp N26-N51, Schneider Electric, 2018

[19] Remi Bolduc, “Impacts of LED lighting on Power Quality”, Schneider Electric

[20] “Encontro de Cúpula sobre Ação Climática”, 23 de setembro de 2019. [Online]. Available: <https://news.un.org/pt/story/2019/09/1688102> [Accessed: 24/09/2019].

[21] CIRCUTOR, “Eficiência em El Uso de la Energía Eléctrica”, Josep Balcells, Ediciones Técnicas Marcombo, pp 63-141 e 302-314, ISBN: 978-84-267-1695-8. Ano: 2011.

[22] José Pedro Sucena Paiva, “Redes de Energia Elétrica uma Análise Sistémica”, IST Press. ISBN: 972-8469-34-9. Ano: 2005

[23] “Qualidade de serviço”, [Online]. Available; <https://infoqstecnica.erse.pt> [Accessed: 24/09/2019].

[24] Fernando Maurício Dias, “Apontamentos da unidade curricular de QUASE – Qualidade da Tensão”, ISEP.

[25] IPQ, Norma NP EN 50160: 2010.

[26] ICAR by ORTEA NEXT, “Filtros Ativos”. [Online]. Available: <https://icar.ortea.com/en/prodotto/uncategorized/active-filters/> [Accessed: 24/09/2019].

[27] António Augusto Araújo Gomes e José António Beleza Carvalho, “Instalações Elétricas de Média Tensão”, Engbook, ISBN: 978-989-723-254-1. Ano: 2017.

[28] André Fernando Ribeiro de Sá, “Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética”, Publindústria, ISBN: 978-972-8953-29-4. Ano 2008.

[29] Solidal, “Guia Técnico”; pp 18, 38 e 215.

[30] EDP, “Manual da Qualidade da Energia Elétrica”, 2005.

[31] ICAR by ORTEA NEXT, “CT-ICAR-FA-02EN-2019-26”, 2019

[32] ERSE, “Portal ERSE – Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço”. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/qualidadedeservico/>

Documents/Manual%20Procedimentos%20da%20Qualidade%20de%20Servi%C3%A7o%20-%202017.pdf [Accessed: 24/09/2019].

[33] ICAR by ORTEA NEXT, “Proposta para filtros ativos ActivematicFA44W”, ortea@ortea.com.

[34] Casa das Lâmpadas, “Proposta para cabos e transformadores de intensidade”, loja de venda sito em Av. Da Boavista, 84, Porto.

[35] EDP, Fatura de energia eléctrica da AM1, Janeiro 2019.

[36] “Medidas de eficiência energética.” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Efici%C3%Aancia_energ%C3%A9tica, [Accessed: 03/09/2019].

[37] ECO.AP, “Calculadora solar fotovoltaico”, <https://ecoap.pnaee.pt/ferramentas/calculadora-solar-fotovoltaico/>, [Accessed: 03/09/2019].

[38] Acordo de Paris sobre as Alterações Climáticas. [Online]. Available: [_https://www.consilium.europa.eu/pt/policias/climate-change/timeline/](https://www.consilium.europa.eu/pt/policias/climate-change/timeline/), [Accessed: 10/07/2019].

[39] ERSE, “Regulamento Tarifário”, 2019.

[40] ERSE, Diretiva n.º 16/2018 -Rotulagem de Energia Elétrica, 2019.

[41] Regulamento (EU) n.º 1293/2013 de 11 de dezembro de 2013.

[42] Schneider Electric, “Electrical Installation Guide 2018”, capítulo M - Harmonic Management, 2018.

[43] APA, [Online]. Available: <https://sniamb.apambiente.pt/>, [Accessed: 10/07/2019].

[44] Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011.

[45] Resolução do Conselho de Ministros n.º 45/2015.

[46] Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015.

[47] PO SEUR, [Online]. Available: <https://poseur.portugal2020.pt>, [Accessed: 10/07/2019].

[48] DGEG, [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/> [Accessed: 03/07/2019].

[49] LNEC, [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/> [Accessed: 03/07/2019].

[50] DGT, [Online]. Available: <http://www.dgterritorio.pt/> [Accessed: 03/07/2019].

[51] APREN, [Online]. Available: <https://www.apren.pt/> [Accessed: 05/07/2019].

[52] APESE, [Online]. Available: <http://www.apese.pt/> [Accessed: 05/07/2019].

[53] ADENE, [Online]. Available: <https://www.adene.pt/> [Accessed: 05/07/2019].

[54] IEA, [Online]. Available: <https://www.iea.org/> [Accessed: 10/07/2019].

[55] GALP, [Online]. Available: <https://www.galp.pt> [Accessed: 10/07/2019].

[56] ELANDCABLES, [Online]. Available: <https://www.elandcables.com> [Accessed: 10/07/2019].

[57] FEUP, [Online]. Available: “Cabos isolados de MT” – <https://www.fe.up.pt> [Accessed: 12/07/2019].

[58] Iberdrola, [Online]. Available: <https://Lojaluz.com/fornecedores> [Accessed: 12/07/2019].

[59] António Augusto Araújo Gomes, Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva e José António Beleza Carvalho, “Instalações Elétricas de Baixa Tensão-Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas”, Engbook, ISBN: 978-989-723-204-6. Ano 2017.

[60] António Augusto Araújo Gomes, “Instalações Elétricas de Baixa Tensão-Canalizações Elétricas”, Engbook, ISBN: 978-989-723-075-2. Ano 2017.

[61] Josep Balcells, “The Rational Use of Electrical Energy”, Circutor, ISBN-84-699-3415-5. Ano 2001.

[62] J.C. Das, “Power System Analysis – Short-Circuit Load Flow and Harmonics. 2nd Ed.”, CRC Press, ISBN: 978-1-4398-2078-0. Ano 2012.

[63] John J. Grainger, William D. Stevenson, JR., “Power System Analysis”, McGraw-Hill, ISBN: 0-07-113338-0. Ano 1994.

[64] DiLouie, Craig, “Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity Technology and Applications”. Lilburn : The Fairmont Press, Inc., ISBN: 0-88173-511-6. Ano 2005.

[65] DRE, “Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, Portaria n.º 949-A/2006.

[66] CABELTE, “Cabos de Energia CABELTE”, 2019.

[67] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), “Compensação do Factor de Potência”, Abril de 2016, [Online]. Available:

https://paginas.fe.up.pt/~jns/material_didatico/CorrecaoFactorPotenciaFinal.pdf,
[Accessed: 23/09/2019].

[68] Instituto Superior Técnico, “Controlo da Injeção de Energia Reativa na Rede por um Parque Eólico”, [Online]. Available:
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137427628/dissertação.pdf>, [Accessed: 23/09/2019].

[69] IEEE, “Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits”, [Online], Available; <https://ieeexplore.ieee.org/document/4503701/>, [Accessed: 05/08/2019].

[70] IEEE, “Force-Commutated Reactive-Power Compensator”, [Online] Available; <https://ieeexplore.ieee.org/document/4504840/>, [Accessed: 05/08/2019].

[71] Instituto Superior Técnico, “Estrutura de um conversor multinível para aplicação em qualidade de energia elétrica”, [Online]. Available:
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143147579/disserta%E7%E3o_50828.pdf,
[Accessed: 01/10/2019].

[72] Heinz K. Tyll, *SM, IEEE*, and Dr. Frank Schettler, “Historical overview on dynamic reactive power compensation solutions from the begin of AC power transmission towards present applications”, IEEE.

[73] <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html>, [Accessed: 12/07/2019].

[74] Resolução do Conselho de Ministros nº 107/2019.

Esta página foi deixada em branco propositadamente

Anexo A – Catálogo técnico de filtros ativos



ICAR
BY ORTEA NEXT

REDUCTION OF HIGH FREQUENCY CURRENTS
DECREASES NETWORK DISTURBANCES,
EARLY AGEING AND DEVICE FAILURES

ACTIVE HARMONIC FILTERS ACTIVEMATIC FA40



ABOUT ORTEA

Founded in 1969, ORTEA SpA is a leading company in manufacturing and engineering Power Quality solutions.



Fifty years in the business and ongoing technical research have made of ORTEA SpA a competitive and technologically advanced company.
Close co-operation between design, production and marketing enables to meet the requirements of a constantly growing number of customers.
Beside standard production, ORTEA SpA can be extremely flexible in developing and manufacturing special equipment according to User's specification. All this thanks to the experience gained over many years of applied technological development. Such development includes IT tools that enable the technical staff to elaborate electrical and mechanical designs for each "custom product" on a quick and cost-effective basis.

The ORTEA SpA products are installed and working in a large number of countries, and, thanks to strategically positioned offices and distributors, guarantee rapid and competent support.

- ORTEA headquarters (Italy)
- ORTEA branches (Russia, Ivory Coast, Kenya, Thailand, Venezuela)



QUALITY CERTIFIED

The belief that product quality and Customer satisfaction are the core of a modern organisation, led to the implementation of a certified Company Managing System.

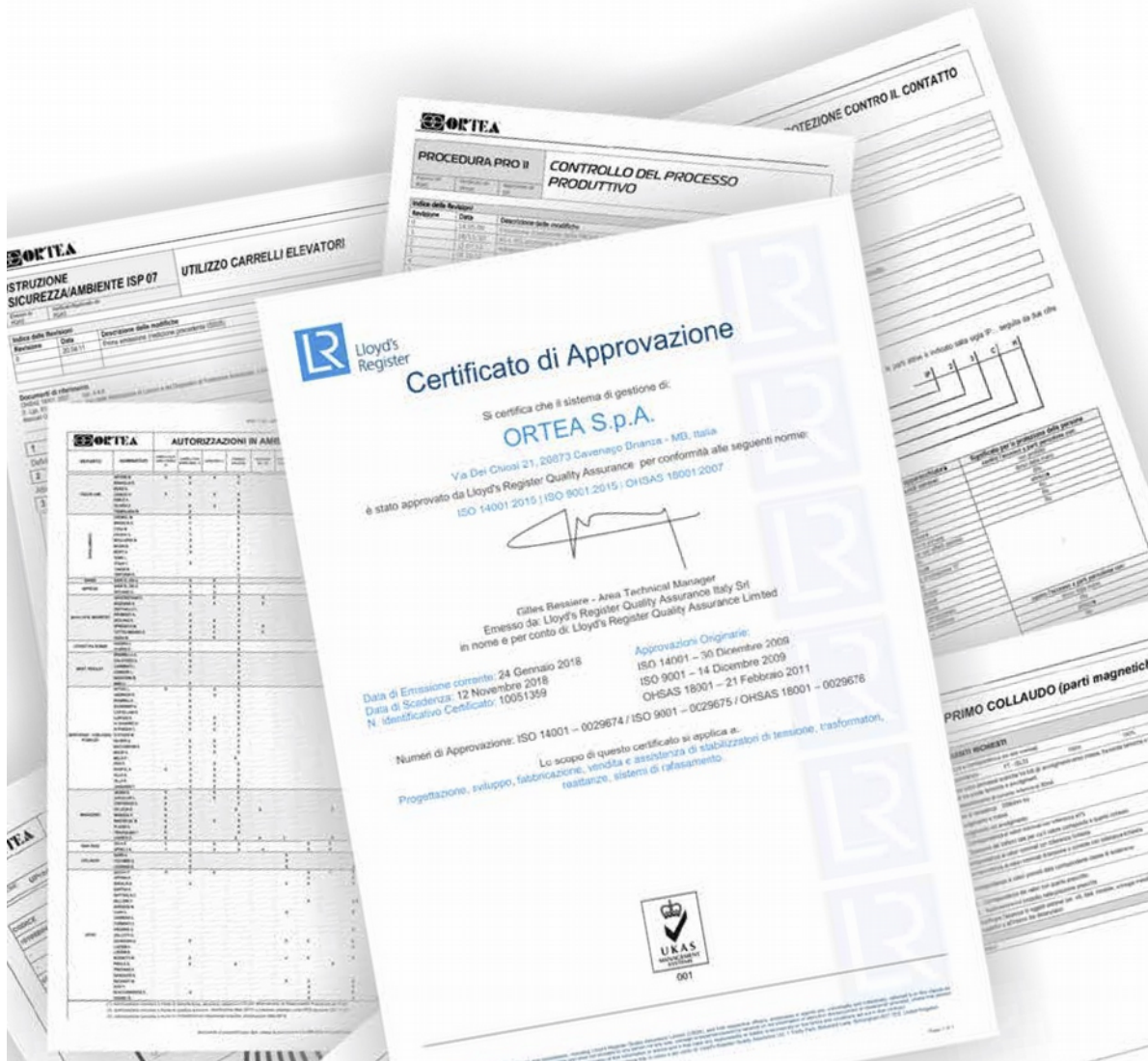


A modern Company that wants to accept the challenge of today's business scenario cannot do so without conforming to standardized organizational criteria. Customer satisfaction, product quality and responsible occupational practices are the basis on which the Company's activities can be consolidated. ORTEA SpA understood this a long time ago: the first ISO 9001 approval dates back to 1996.

Today ORTEA SpA Integrated Managing System is approved by Lloyd's Register according to the main Standards:

- ISO9001 (Quality management systems)
- ISO14001 (Environmental management systems)
- OHSAS18001 (Occupational health & safety management systems)

This means that ORTEA SpA can ensure that its performance is optimized in terms of internal process management, commitment towards environmental issues and attention to health & safety at work within the frame of a single Managing System.

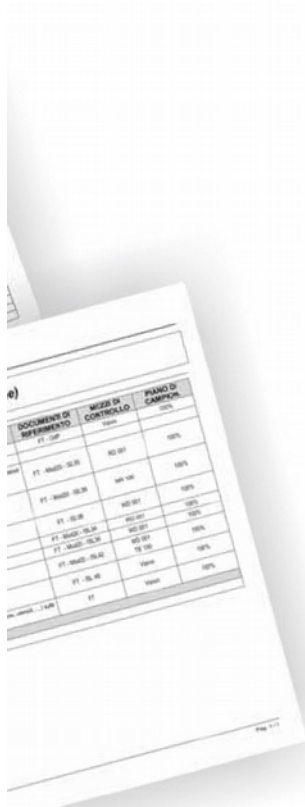


ORTEA POWER QUALITY SOLUTIONS

Companies are more and more sensitive to Power Quality issues because they can cause troubles and damages to equipments and processes, up to interrupting the production cycle

ORTEA SpA, with his brands ORTEA, ICAR and ENERSOLVE, offers a unique range of products and services for Power Quality and Energy Efficiency of low voltage electrical networks: voltage stabilisers, sag compensator, power factor correction systems, lv transformers, lv reactors and active harmonic filters.

VOLTAGE VARIATION	VOLTAGE STABILISERS	ORTEA
SAGs/DIPs	SAG COMPENSATOR	ORTEA
EXCESSIVE REACTIVE POWER	POWER FACTOR CORRECTION SYSTEMS	ICAR
UNPROTECTED LOADS	DRY-TYPE TRANSFORMERS	ORTEA
HARMONIC POLLUTION	ACTIVE HARMONIC FILTERS	ICAR
WASTE OF ENERGY	NETWORK OPTIMISERS	ENERSOLVE





THE PROBLEM

Loads operated by electronic devices are increasingly adopted in more and more industrial and commercial applications such as: variable speed drives, rectifiers, welding machines, power electronics, non-filament lighting, presses, furnaces, etc).

These loads generate waveform distortions and, in particular, voltage and current harmonics, where the latter are the more dangerous.

This generate a series of problems, such as:

- Early aging of the components due to thermal and / or mechanical stress.
- Undue tripping of circuit breakers.
- Breakage of electronic boards.
- Malfunctions of sensitive equipment (eg computers, numerically controlled machines).
- UPS reliability issues.
- Damage to PFC and capacitive parts, etc.

Substantial level of current harmonic distortion might turn into heavy voltage harmonic distortion, which are magnifying the above problems.

THE SOLUTION

ACTIVEmatic FA40 active filters are the solution to all these problems.

While adopting a properly selected FA40 ACTIVEmatic, current and voltage harmonic distortion will dramatically reduce, and the sensitive loads will be prevented from the related troubles.

WHAT AN ACTIVE FILTER CAN DO?



Harmonic current compensation



Reactive power compensation



Load balancing



Flicker compensation

Modular design allows future expansion: up to 5 module of 60A in each cabinet.



MAIN FEATURES

ACTIVEmatic FA40 active harmonic filter is a solid state power converter which measures the harmonics current generated by the non-linear load. It generates opposite phase shifted harmonics current of the same amplitude, and so it cancels the loads harmonic current and then obtains a sinusoidal current in the supply side, also improving power factor and compensating unbalanced currents.

Harmonic compensation
up to 50th harmonic, individually selectable.

Modular system extendable
(from 60A to 600A) permits low life cycle costs and flexibility.

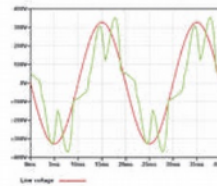
Easy installation & commissioning
touch screen interface with installation assistant.

Highest performance:
reaction time < 21 μ s, very fast steady state time < 300 μ s.

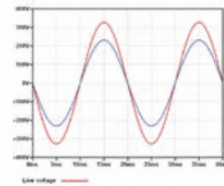
Less power dissipation
due to 3 level NPC topology: low loss < 15 W att / Amp.

Flicker compensation.

**WITHOUT ACTIVE FILTER
ACTIVEmatic FA40**
Harmonic disturbances caused by e.g. non linear loads..



**WITH ACTIVE FILTER
ACTIVEmatic FA40**
Harmonic oscillations are actively compensated.



ADVANTAGES OF 3-LEVEL NPC TOPOLOGY

The ACTIVEmatic FA40 series range operates on the basis of a 3-level Neutral-Point-Clamped (NPC) topology circuit.

This topology can produce three voltage levels at the output: the DC bus plus voltage, zero voltage and DC bus negative voltage. The two-level topology can only connect the output to either the plus bus or the negative bus.

Main advantages of the 3-level NPC topology:

- **Lower losses:** only half of the voltage has to be switched, thus reducing the switching losses in the transistor. Three-level solutions are characterized by reduced circuit losses and higher efficiency.
- **Smaller output current ripple:** the NPC 3-level topology has a lower ripple in the output current and half of the output voltage transient thanks to a higher quality output voltage. This improves performance and reduces the internal filter requirement.

APPLICATION FIELDS

As the Power Electronic operated loads are widely used in any filed of energy consumption active harmonic filters are an excellent solution to solve Power Quality problems.

The flexibility of ACTIVEmatic FA40 compensation allows their selection and implementation even at the design stage, without knowing the actual load profiles.

ACTIVEmatic can also efficiently compensate harmonic currents along with other Power Quality devices, such as Power Factor Correction Banks and Voltage Stabilisers.

Applications:

- Variable Speed Drives
- (UPSs) Uninterrupted Power Supplies
- Building automation
- Welding
- Tunnel ventilation
- Data centers
- Marine propulsion
- Large elevators and cranes
- Oil and gas
- Wind turbines
- Paper mills
- Steel industry
- Cement industry
- Automotive industry
- Water treatment.
- Research laboratories
- Hotels and shopping centers

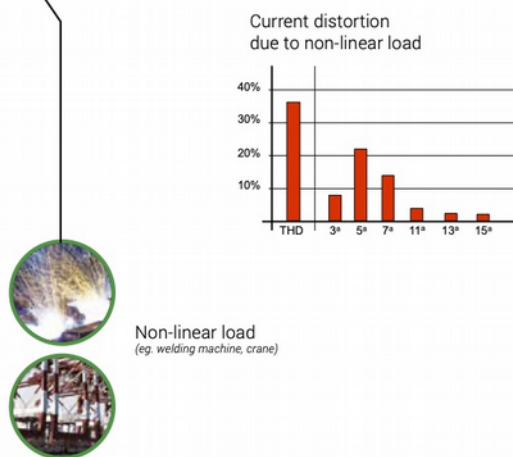
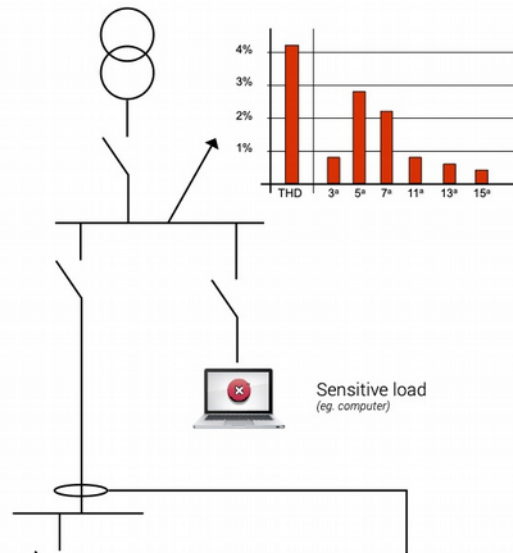
STANDARDS

ACTIVEmatic FA40 active filters standards:

- EN 61000-2-2
- EN 61000-2-4
- EN 61000-3-2
- EN 61000-3-12
- EN 61000-3-3
- IEEE STD 519-2014

WITHOUT ACTIVEmatic FA40

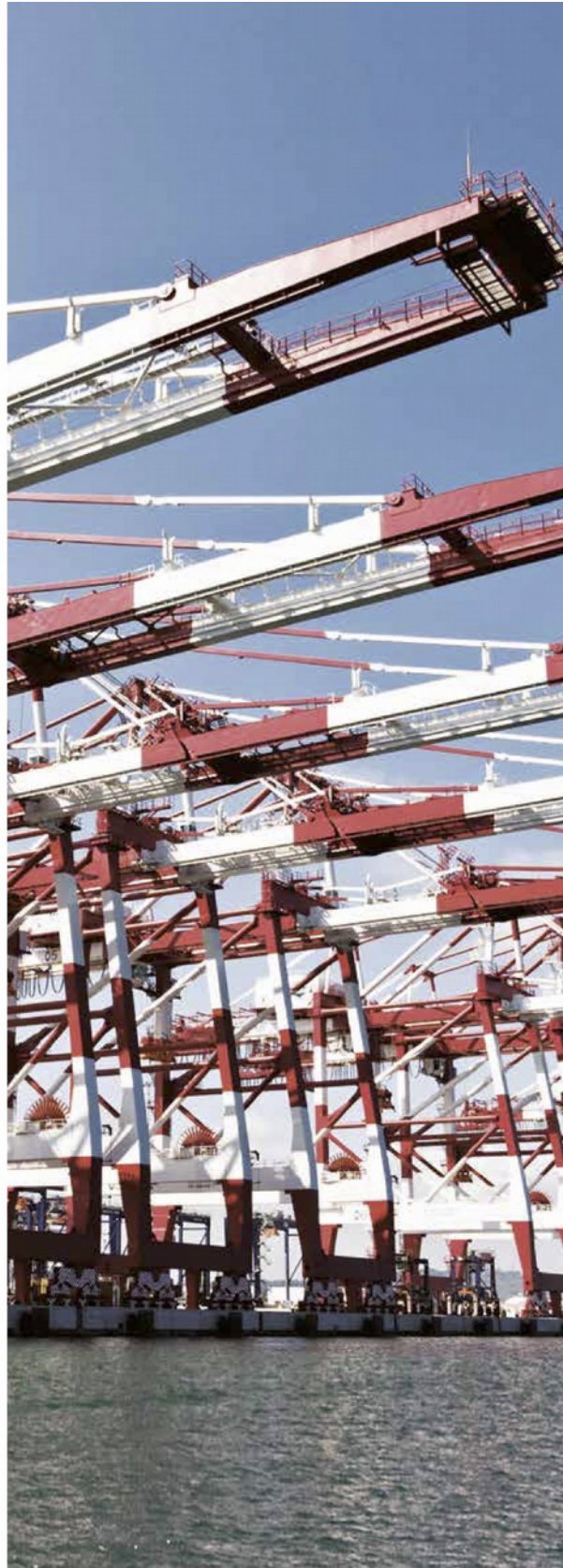
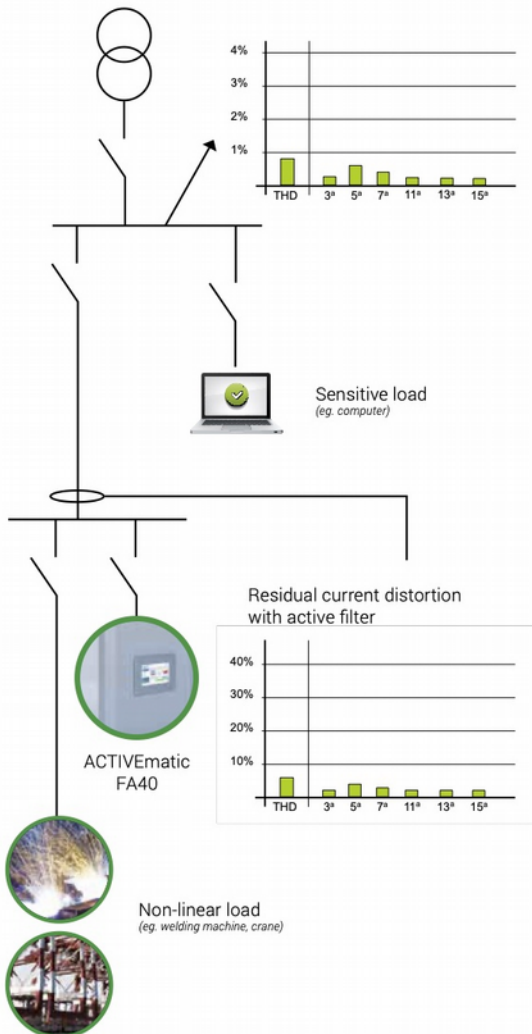
Sensitive load voltage distortion.





WITH ACTIVEmatic FA40

Residual voltage distortion.





ACTIVEmatic FA40: technical characteristics

Main voltage:	Ue=200V - 480V ± 10%
Rated frequency:	50Hz / 60 Hz ± 3Hz
System input / number of phases:	3 phases, 3 wires or 3 phases, 4 wires
Main network distribution:	TN or TT
Harmonic compensation:	up to 50°, individually selectable
Reactive power factor compensation cosφ:	from 0.7 inductive to 0.7 capacitive
Dynamic load balancing between phases:	prevents neutral overloading
Rated current:	60 A for each module
Parallel units:	up to 5 in the same cabinet, 300 A total. Possibility of operation of several units in parallel.
Response time:	< 200µs
Overload capability:	2.5 In (x 10ms)
Cooling:	air cooled system
Ambient temperature:	-10°C to +45°C full performance, derating up to 55°C
Relative Humidity:	<95%, non condensing
Altitude:	2000 m, 4000 m max with derating
Switching frequency:	24 kHz
Inverter topology:	3 levels IGBT switch for low losses
Current limitation:	nominal current
Highest safety and reliability:	including protections against overload, shortcircuit, overheating, overvoltage and undervoltage
Grid resonance detection:	with blocking resonance currents
Current transformers:	n° 3 rated from 100A/1A to 2500A/1A (not supplied)
Protection degree:	IP43 for floor mount cabinet, IP 20 for wall mount version. IP 54 optional for floor mount
User interface:	7" display touch screen unit for commissioning and monitoring. Includes Ethernet interface
Certificates:	CE, ROHS
Cabinet colour:	RAL 7035

Part number	Description	Compensation current			Voltage (50-60Hz)	Losses		Weight
		Wires	Phase	Neutral		Full load	Stand by	
		[Nr.]	[A]	[A]	[V]	[W]	[W]	[kg]

Versione a muro

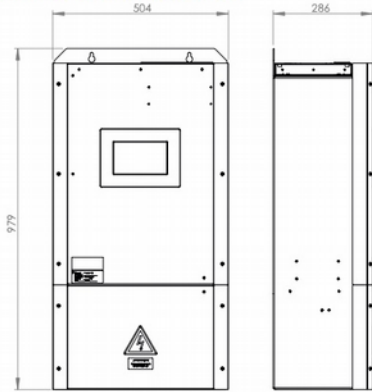
FA43W060XXA0000	ACTIVEmatic FA43 W 60A	3	60	–	200V ... 480V (±10%)	900	50	96
FA43W120XXA0000	ACTIVEmatic FA43 W 120A	3	120	–	200V ... 480V (±10%)	1800	100	160
FA44W060XXA0000	ACTIVEmatic FA44 W 60A	4	60	180	200V ... 415V (±10%)	900	50	96
FA44W120XXA0000	ACTIVEmatic FA44 W 120A	4	120	360	200V ... 415V (±10%)	1800	100	160

Versione a terra

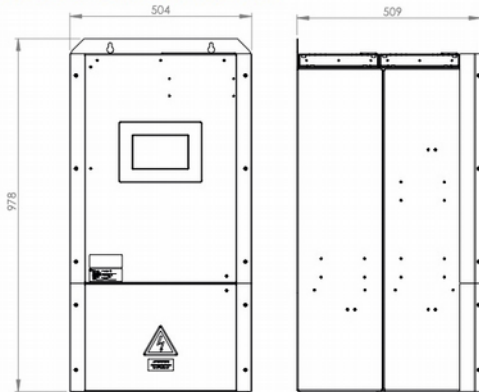
FA43F060XXA0001	ACTIVEmatic FA43 F 60A	3	60	–	200V ... 480V (±10%)	900	50	95
FA43F120XXA0001	ACTIVEmatic FA43 F 120A	3	120	–	200V ... 480V (±10%)	1800	100	158
FA43F180XXA0001	ACTIVEmatic FA43 F 180A	3	180	–	200V ... 480V (±10%)	2700	150	410
FA43F240XXA0001	ACTIVEmatic FA43 F 240A	4	240	–	200V ... 480V (±10%)	3600	200	470
FA43F300XXA0001	ACTIVEmatic FA43 F 300A	3	300	–	200V ... 480V (±10%)	4500	250	530
FA44F060XXA0001	ACTIVEmatic FA44 F 60A	4	60	180	200V ... 415V (±10%)	900	50	96
FA44F120XXA0001	ACTIVEmatic FA44 F 120A	4	120	360	200V ... 415V (±10%)	1800	100	160
FA44F180XXA0001	ACTIVEmatic FA44 F 180A	4	180	540	200V ... 415V (±10%)	2700	150	413
FA44F240XXA0001	ACTIVEmatic FA44 F 240A	4	240	720	200V ... 415V (±10%)	3600	200	474
FA44F300XXA0001	ACTIVEmatic FA44 F 300A	4	300	900	200V ... 415V (±10%)	4500	250	535

DRAWINGS

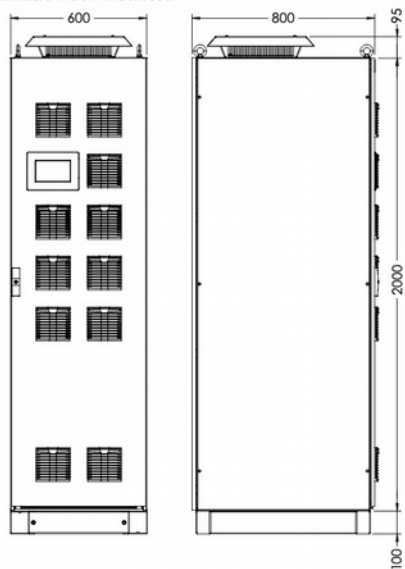
ACTIVematic wall mounted 60A



ACTIVematic wall mounted 120A



ACTIVematic floor mounted



Anexo B – Fichas de características dos filtros ativos tipo FA44W

ICAR S.p.A.
Via Isonzo, 10
20900 Monza (MB) - Italia www.icar.com sales@icar.com

Tel. +39 03983951
Fax. +39 039833227



FA44W60A - Wall mount Active filter 60 A



Technical Characteristics

Main voltage: $U_e=200V - 415V \pm 10\%$
 Rated frequency: 50Hz / 60 Hz $\pm 3\text{Hz}$
 System input / number of phases: 3 phases 4 wires
 Main network distribution: TN or TT
 Harmonic compensation: Up to 50%, individually selectable
 Reactive power factor compensation $\cos\phi$: - 0.7 ÷ + 0.7
 Dynamic load balancing between phases; prevents neutral overloading.
 Parallel units: Up to 5
 Response time: < 200 μs
 Overload capability: 2.5 In (x 10ms)
 Cooling type: air cooled system
 Ambient temperature: -10°C to +45° C full performance, derating up to 55° C
 Relative Humidity: <95%, non condensing
 Altitude: 2000 m without derating, 4000 m max with derating
 Switching frequency: 24 kHz
 Inverter topology: 3 levels IGBT switch for low losses
 Controller topology: Floating point 32 bit DSP and FPGA integrated; selective direct control algorithm
 Current limitation: nominal current
 Highest safety and reliability including protections against overload, short-circuit, overheating, overvoltage and undervoltage.
 Grid resonancy detection with blocking resonancy currents
 Current transformers: n° 3 rated from 100A/1A to 2500A/1A (not supplied)
 Protection degree: IP20
 User interface: 7" display touch screen unit for commissioning and monitoring. Includes Ethernet interface.
 Certificates: CE, ROHS

Generalities

Active Harmonic Filters provide instantaneous dynamic harmonic measure and correction by actively injecting the required currents into the customer's electrical distribution system that cancel the entire spectrum of harmonic currents at the point of connection.

Typical applications include locations with large amounts of non-linear loads including variable frequency drives, DC drives, UPS as well as other switch-mode power supply. Active filters are insensitive to the number of loads and network configuration and can also compensate reactive power and load balance.

Icar active filter helps to meets the requirement of power quality standards as IEEE 519 or EN 50160 by reducing the supply current THD under 5% and better. They also reduces RMS current and prevent flicker.

Description/ Code	Compensation current [A]		Working voltage [V]	Losses [W]		Weight
	Phase	neutral		full load	standby	
FA44 W 60A 3 phase 4 wires 60 A FA44W060XXA0000	60	180	200 V ... 415 V ($\pm 10\%$)	900	50	96

Rev. 2 – 14/03/2017

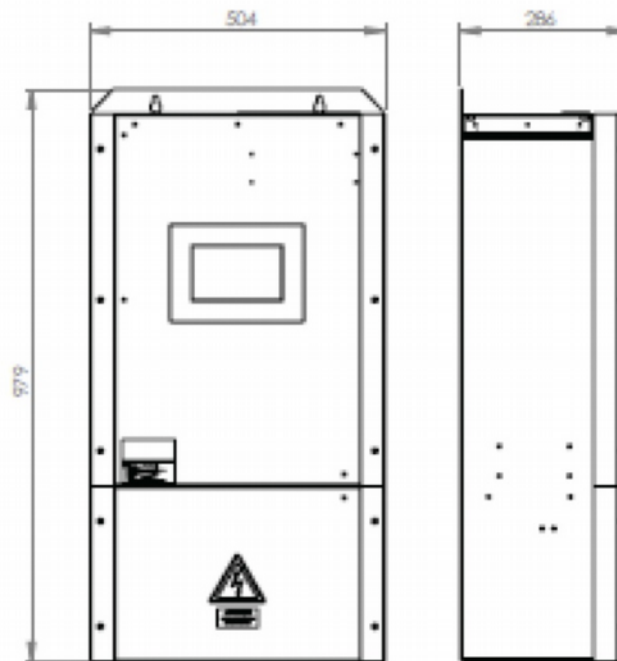
ICAR S.p.A. Tel. +39 03983951
Via Isonzo, 10 Fax. +39 039833227
20900 Monza (MB) - Italia www.icar.com sales@icar.com



Cabinet description

The cabinet includes HMI user interface, current sensor unit, cooling fans, mains terminals. External switch is required. Protection class IP20.

Drawings



60 A Active filter type FA44 W 60A

Rev. 2 - 14/03/2017

FA44W120A - Wall mount Active filter 120 A



Technical Characteristics

Main voltage: $U_e=200V - 480V \pm 10\%$
 Rated frequency: 50Hz / 60 Hz $\pm 3\%$
 System input / number of phases: 3 phases 4 wires
 Main network distribution: TN or TT
 Harmonic compensation: Up to 50th, individually selectable
 Reactive power factor compensation $\cos\phi$: - 0.7 ÷ - 0.7
 Dynamic load balancing between phases; prevents neutral overloading.
 Parallel units: Up to 5
 Response time: < 200 μ s
 Overload capability: 2.5 In (x 10ms)
 Cooling type: air cooled system
 Ambient temperature: -10°C to +45° C full performance, derating up to 55° C
 Relative Humidity: <95%, non condensing
 Altitude: 2000 m without derating, 4000 m max with derating
 Switching frequency: 24 kHz
 Inverter topology: 3 levels IGBT switch for low losses
 Controller topology: Floating point 32 bit DSP and FPGA integrated; selective direct control algorithm
 Current limitation: nominal current
 Highest safety and reliability including protections against overload, short-circuit, overheating, overvoltage and undervoltage.
 Grid resonance detection with blocking resonance currents
 Current transformers: n° 3 rated from 100A/1A to 2500A/1A (not supplied)
 Protection degree: IP20
 User interface: 7" display touch screen unit for commissioning and monitoring. Includes Ethernet interface.
 Certificates: CE, ROHS

Generalities

Active Harmonic Filters provide instantaneous dynamic harmonic measure and correction by actively injecting the required currents into the customer's electrical distribution system that cancel the entire spectrum of harmonic currents at the point of connection.

Typical applications include locations with large amounts of non-linear loads including variable frequency drives, DC drives, UPS as well as other switch-mode power supply. Active filters are insensitive to the number of loads and network configuration and can also compensate reactive power and load balance.

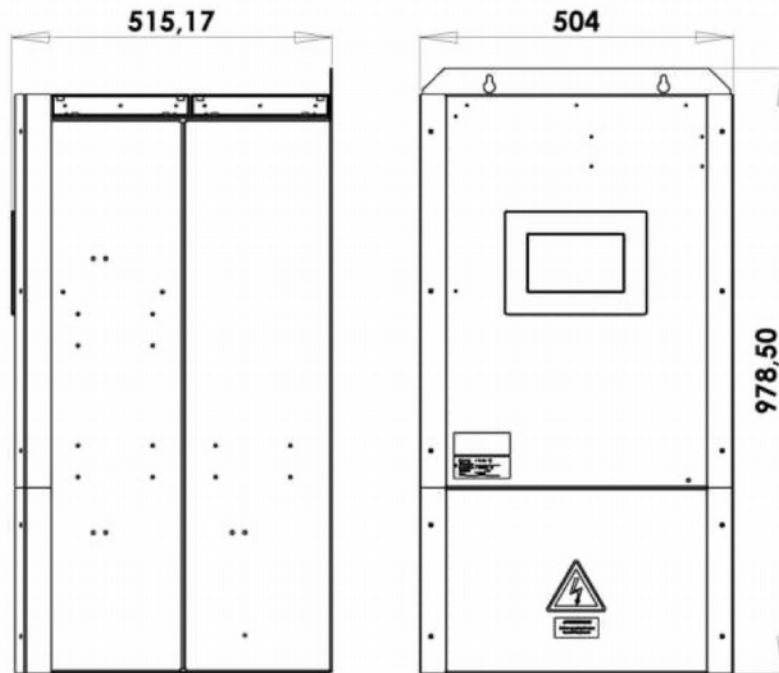
Icar active filter helps to meet the requirement of power quality standards as IEEE 519 or EN 50160 by reducing the supply current THD under 5% and better. They also reduce RMS current and prevent flicker.

Description/ Code	Compensation current [A]		Working voltage [V]	Losses [W]		Weight
	Phase	neutral		full load	standby	
FA44 W 120A 3 phase 4 wires 120 A FA44W120XXA0000	120	360	200 V ... 415 V ($\pm 10\%$)	1800	100	160

Cabinet description

The cabinet includes HMI user interface, current sensor unit, cooling fans, mains terminals. External switch is required. Protection class IP20.

Drawings



120 A Active filter type FA44 W 120A

Anexo C – Ficha de características das luminárias LED de exterior

Qualification Certificate

Date of Production: **QC**
2018-03-19

Inspector: **PASS**

Installation Instructions

The luminaire contains a constant-current driver and LED light sources. It works under technical conditions as the product labels indicate.

Technical Parameter

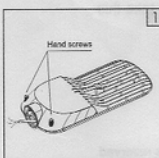
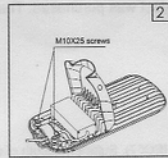
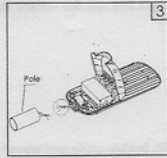
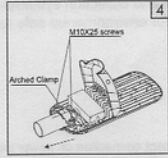
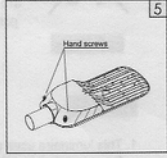
LED Street Light	
Power	Max 60W
Input Voltage	<input checked="" type="checkbox"/> 120~240V <input type="checkbox"/> 100~277V <input type="checkbox"/> 220~240V <input type="checkbox"/> 120~277V <input type="checkbox"/> 277~480V <input type="checkbox"/> Other _____ Frequency 50/60Hz
Power Factor	0.95
Working Environment	-40°C~+50°C, 10%~90%RH
Bolt Torque	17Nm
Mounting Height	6~15m
Mounting Spacing	20~45m
Dimensions	435x195x80mm
Net Weight	2.7kg
Project Area	0.083m ²
Degree of Protection	IP67

Notes: The above net weight is typical value.

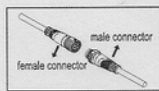
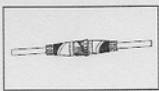
Applications

Expressways, highways, avenues, trunk roads, sub-trunk roads, paths, schools, residential areas, courtyards, etc.

Installation

- 
- 
- 
- 
- 

Cable Connectors

-  1. Connect the male and female connectors by aligning the indicative arrow on them.
-  2. Hold the nut on one terminal still, meanwhile, rotating clockwise till the one on the other terminals is tightened up. Otherwise the waterproof performance might be affected.

Wiring

Power Supply End	Earth wire	Neutral wire	Live wire
Fixture End	Yellow-green lead	Blue lead	Brown lead
	Green lead	White lead	Black lead

Installation Instructions

Caution

- a** Disconnect or turn off power before installation, maintenance and wiring.
- b** Cable connection must be insulated and waterproof.
- c** For luminaires with glass cover: the cover is made of tempered glass which shatters into small pieces without sharp edges when it breaks. Application condition: -30°C-100°C; maximum temperature rise $\Delta 160^{\circ}\text{C}$.
- d** The light source of this luminaire is not replaceable. When the light source's lifetime comes to an end, it is the whole luminaire that should be replaced.

Warning: Danger! Electric shock risk!

(via IEC 60417-6042 (2011-11))

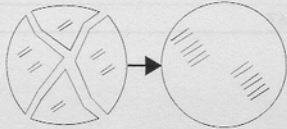


For luminaires with glass cover: The broken cover should be replaced.

Rectangle



Round



The luminaire shall be installed by a qualified electrician and wired in accordance with the latest IEE electrical regulations or the national requirements.



This marking indicates that this product should not be disposed with other household wastes throughout the EU. To prevent possible harm to the environment or human health from uncontrolled waste disposal, recycle it responsibly to promote the sustainable reuse of material resources. To return your used device, please use the return and collection systems or contact the retailer where the product was purchased. They can take this product for environmental safe recycling

Remarks

1. This luminaire uses permanent connection on power supply with flexible cable and wires (60245 IEC57). Sufficient length of cable is reserved for connection to AC power. Protection over the connection joint and elimination of tensile force there should be ensured.
2. This luminaire uses type Z attachment: the external flexible cable or cord of this luminaire cannot be replaced; if the cord is damaged, the luminaire shall be destroyed.
3. Wiring: the connection to AC power should be operated on terminal blocks in a wiring box with a degree of protection at least equivalent to the luminaire, and there should be devices to fixate wires.
4. The luminaire can be mounted onto ordinary combustible surfaces.

HPC4044AZ4

