

SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

João Nuno Morêda Costa



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2014

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: João Nuno Morêda Costa, N° 1070237, 1070237@isep.ipp.pt

Orientação científica: Fernando Maurício Teixeira de Sousa Dias, fmd@isep.ipp.pt

Co-orientação científica: Armando Herculano Lopes Ferreira, ahlf@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

7 de julho de 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer, com um profundo “obrigado”, aos meus familiares, que estão presentes todos os dias na minha vida e que sempre me apoiaram em tudo o que foi necessário.

Quero também agradecer aos meus colegas do ISEP, em especial à Catarina Contente por ter ajudado na revisão desta tese, ao Sérgio Ramos, Nuno Campos, José Moura, Alexandre Araújo, Bruno Vieira, Cliff Pereira, João Ribeiro e Jonathan Garcia, pois marcaram o meu percurso académico com uma forte amizade e companheirismo.

Agradecimentos ao meu orientador Maurício Dias e ao co-orientador Armando Herculano pelo desafio proposto, pelo apoio proporcionado e pela disponibilidade prestada, principalmente nas fases mais difíceis.

Gostaria ainda de agradecer a um dos representantes da empresa *Janitza*, Engenheiro Miguel Sousa, pela disponibilidade demonstrada.

Por fim, deixo o meu agradecimento ao Eng.º Barrote Dias, do Serviço de Apoio Técnico, e ao Engenheiro Nuno Vinha, da Divisão de Sistemas Informáticos, pela ajuda na discussão de vários assuntos técnicos.

Resumo

A racionalização do consumo de energia elétrica é um tema que assume uma importância crescente nos dias de hoje. O elevado consumo de energia, principalmente a nível comercial/industrial, tem motivado o aparecimento de questões políticas, económico-sociais e ambientais que visam a sensibilização dos consumidores para a gestão eficiente dos seus recursos. Neste sentido, as empresas e instituições têm demonstrado interesse em encontrar soluções de gestão nas suas instalações elétricas que permitam a monitorização de indicadores e a previsão de falhas cuja ocorrência acarreta elevados custos de reparação/substituição, de paragem de produção, entre outros.

O estudo aqui apresentado surge no âmbito de um projeto académico, cuja finalidade se prende com a implementação de um sistema de monitorização da qualidade e consumo de energia elétrica no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Baseado numa rede de dispositivos analisadores de parâmetros de energia elétrica, estes equipamentos de medição dispõem de *software* próprio, o *GridVis*, que permite o acesso remoto, através de uma rede *Ethernet*, aos parâmetros de energia (grandezas físicas elétricas). O sistema desenvolvido é capaz de identificar parâmetros de consumo de energia anómalos e emitir alertas, pré-programados em linguagem C++ e diagrama de blocos. Permite, por exemplo, detetar um consumo instantâneo excessivo de energia e alertar a sua ocorrência.

As páginas de acesso aos parâmetros medidos por cada dispositivo são acessíveis através de uma interface gráfica desenvolvida em *Adobe Flash* que inclui, de uma forma simples e organizada, a informação relativa à distribuição dos dispositivos de medição.

Num contexto de expansão deste projeto para outros edifícios do ISEP, a solução desenvolvida encontra-se preparada para ser adaptada em qualquer local, desde que reúna certos requisitos.

Palavras-Chave

Qualidade de Energia Elétrica, Utilização Racional de Energia, Eficiência Energética, Rede de Comunicação, Monitorização.

Abstract

The rationalization of energy consumption has increased its importance these days. The energy consumption rate has grown during the last decades, which has led to the appearance and reinforcement of social and environmental concerns about the intelligent and sustainable management of energy resources among consumers. To fulfil these requests, corporations and institutions have been interested in methods that allow to efficiently supervising the main energy indicators and to accurately predict failures that usually lead to high operating costs of repairing or substitution.

This study aims to implement a monitoring system for power quality of electric energy consumption to consumer devices in Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). This system is based on a network of energy analysers that measure several parameters of electric energy. These instruments are provided with their own software (GridVis), which allows, via Ethernet, to access remotely to the variables and energy parameters being measured. Moreover, the system is capable of identifying abnormal consumption parameters and send automatized alerts, previously developed by using the C++ programming language and block diagrams. As an example, the system allows to detect excessive energy consumptions and send instant notifications to warn those occurrences.

A graphical user interface application was developed to access the pages of the devices where the parameters being measured are shown. This application is conceived to retrieve the information related to the allocation of energy analysers in a simple and organized way.

The developed system provides the requirements needed in case of expansion to the remaining buildings of ISEP.

Keywords

Power Quality, Rational Use of Energy, Energy Efficiency, Communication Network, Monitoring.

Nota ao leitor

Este documento encontra-se redigido em português europeu, segundo o acordo ortográfico de 2011. Ao longo da sua estrutura, verificam-se descrições em português e em inglês, bem como abreviaturas. Esta opção está relacionada com a utilização e descrição de alguns conceitos que são mais reconhecidos usando a literatura anglosaxónica, utilizando uma formatação em itálico nestes estrangeirismos.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. CALENDARIZAÇÃO	4
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO	4
2. ENERGIA ELÉTRICA	7
2.1. IMPACTO AMBIENTAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	8
2.2. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	9
2.3. PERTURBAÇÕES DA QEE	11
2.4. MANUTENÇÃO	17
2.5. NORMALIZAÇÃO	19
2.6. SOLUÇÕES DE EQUIPAMENTOS DE MONITORIZAÇÃO	22
2.7. SÍNTESE	24
3. DEFINIÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA	25
3.1. REQUISITOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	25
3.2. REDE DE MONITORIZAÇÃO	26
3.3. ARMAZENAMENTO E GESTÃO DE DADOS	30
3.4. INTERFACE GRÁFICA (HMI)	30
3.5. FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	31
3.6. SÍNTESE	31
4. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	33
4.1. DESCRIÇÃO GERAL DA IMPLEMENTAÇÃO	33
4.2. LOCAL DA IMPLEMENTAÇÃO DOS DISPOSITIVOS	34
4.3. COMUNICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE MONITORIZAÇÃO	36
4.4. ARMAZENAMENTO E GESTÃO DE DADOS (PC)	36
4.5. INTERFACE GRÁFICA (HMI)	54
4.6. SÍNTESE	58
5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA	59
5.1. TESTES CARGA RLC	59
5.2. TESTES INTERFACE GRÁFICA (HMI)	60
5.3. TESTES ENCRIPTAÇÃO	62
5.4. GRÁFICOS E TABELAS DE ALERTAS	62
5.5. SÍNTESE	70

6. CONCLUSÕES	71
6.1. APRECIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO	71
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	72
ANEXOS.....	74
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo mundial de energia primária (adaptado de [8]).....	9
Figura 2 – Triângulo de potências.....	11
Figura 3 – Exemplos de transitórios: (i) impulsivos; e (ii) oscilatórios [17].....	12
Figura 4 – Exemplos de aumento (i), redução (ii) e interrupção (iii) da tensão [16].	13
Figura 5 – Exemplo de distorção da onda da corrente (adaptado de [18]).....	15
Figura 6 – Exemplo distorção harmónica na tensão [19].....	15
Figura 7 – Exemplo inter-harmónicos na corrente [19].	16
Figura 8 – Exemplo de micro-cortes na tensão [19].	16
Figura 9 – Exemplo de ruído na tensão [19].	17
Figura 10 – Exemplo de flutuação de tensão [12].....	17
Figura 11 – Tipos de manutenção (adaptado de [20]).....	18
Figura 12 – Exemplo de erros de leitura [24].....	21
Figura 13 – Arquitetura do sistema (adaptado de [26]).....	26
Figura 14 – Dispositivos: (i) UMG 511; (ii) UMG 604; e (iii) UMG 96S.....	27
Figura 15 – Diagrama geral da implementação.....	34
Figura 16 – Esquema da instalação dos dispositivos UMG.	35
Figura 18 – Equipamento de trabalho no LME.....	35
Figura 19 – Esquema da comunicação.....	36
Figura 20 – Parâmetros de cada dispositivo.....	37
Figura 21 – Tabelas de registo dos parâmetros da corrente.	43
Figura 22 – Gráficos e tabelas de alertas.....	44
Figura 23 – Fluxograma da programação dos dispositivos UMG 511 e UMG 604.....	47
Figura 24 – Fluxograma da programação do dispositivo UMG 96S.....	48
Figura 25 – Algumas variáveis do sistema e atribuições [31].....	49
Figura 26 – Amostra da rotina ‘Código de programa <i>inline</i> ’.	49
Figura 27 – Configuração da rotina ‘Enviar <i>email</i> ’.	50
Figura 28 – Programação dos alertas da corrente (UMG 511 e 604).....	51
Figura 29 – Programação dos alertas da corrente (UMG 96S).	52
Figura 30 – Programação dos alertas da tensão (UMG 511 e 604).....	52
Figura 31 – Programação dos alertas da tensão (UMG 96S por intermédio do UMG 604).	53
Figura 32 – Programação dos alertas da potência ativa (UMG 511 e UMG 604).	53
Figura 33 – Fluxograma representativo da HMI.	54
Figura 34 – Tradução do fluxograma da HMI.	55
Figura 35 – Configurações da interface dos parâmetros de consumo.	56

Figura 36 – Interface de visualização dos ‘Parâmetros UMG’.	57
Figura 37 – Fluxograma referente à segurança dos dispositivos.	58
Figura 38 – Teste com cargas RLC no LME.	59
Figura 39 – Testes com transformadores de corrente.	60
Figura 40 – Interface gráfica final.	61
Figura 41 – Parâmetros <i>online</i> de consumo.	61
Figura 42 – Configuração dos dispositivos protegida por palavra-passe.	62
Figura 43 – Gráficos de corrente e tabelas de alertas.	63
Figura 44 – Gráficos de tensões e tabelas de alertas.	64
Figura 45 – Gráfico da potência ativa e tabela de alertas.	65
Figura 46 – Gráfico da energia ativa consumida e tabela de alertas.	66
Figura 47 – Testes da programação efetuada na consola de <i>debug</i> .	67
Figura 48 – Testes de quebras e picos de tensão.	68
Figura 49 – Resultado final dos alertas por <i>email</i> dos três dispositivos UMG.	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Diagrama de <i>Gantt</i>	4
Tabela 2 – Divisão em categorias de fenómenos eletromagnéticos (adaptado de [12][16]).	12
Tabela 3 – Classes dos dispositivos de medição [24].	21
Tabela 4 – Análise comparativa de alguns sistemas de monitorização existentes no mercado.	23
Tabela 5 – Funcionalidades dos dispositivos utilizados.....	28
Tabela 6 – Descrição de alguns protocolos de comunicação (adaptado de [28])......	29
Tabela 7 – Descrição de alguns serviços TCP (adaptado de [28])......	29
Tabela 8 – Ferramentas de desenvolvimento.	31
Tabela 9 – Ilustração das imagens das configurações.	39
Tabela 10 – Parâmetros para criação de alertas.	41
Tabela 11 – Tabela de cálculo dos valores da programação da corrente.	45

Acrónimos

- CA – *Alternating Current* (Corrente Alternada)
- CEI – Comissão Eletrotécnica Internacional
- CEN – Comité Europeu de Normalização
- CENELEC – Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica
- DC – *Direct Current* (Corrente Contínua)
- DHCP – *Dynamic Host Configuration Protocol* (Protocolo de Configuração Dinâmica do *Host*)
- DNS – *Domain Name System* (Sistema de Nomes do Domínio)
- EN – *European Norm* (Norma Europeia)
- GEE – Gases Efeito de Estufa
- HMI – *Human-Machine Interface* (Interface Homem-Máquina)
- HTTP – *HyperText Transfer Protocol* (Protocolo de Transferência de *Hyper* Texto)
- IEA – *International Energy Agency* (Agência de Energia Internacional)
- IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)
- IEEE – Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos
- IP – *Internet Protocol* (Protocolo de Internet)
- ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

LME	–	Laboratório de Maquinas Eléctricas
Mtep	–	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
PC	–	<i>Personal Computer</i> (Computador Pessoal)
PLC	–	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável)
PT	–	Posto de Transformação
QEE	–	Qualidade de Energia Eléctrica
RQS	–	Regulamento da Qualidade de Energia
RS	–	<i>Recommended Standard</i> (Normas Recomendadas)
SMTP	–	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transmissão de Correio Simples)
SSH	–	<i>Secure Shell</i> (Consola Segura)
SSL	–	<i>Secure Sockets Layer</i> (Camada de Sockets Seguros)
TCP	–	<i>Transmission Control Protocol</i> (Protocolo de Controlo de Transmissão)
THD	–	<i>Total Harmonic Distortion</i> (Distorção Harmónica Total)
TI	–	Transformador de Intensidade
UE	–	União Europeia
URE	–	Utilização Racional de Energia

1. INTRODUÇÃO

Os atuais problemas económicos e ambientais levam à procura de novas soluções para satisfazer as crescentes necessidades energéticas da sociedade.

A energia é definida como a capacidade de um sistema físico realizar trabalho [1]. Existem várias formas de energia, uma das quais, a energia (potencial) eléctrica. É um bem essencial e precioso, estando associada à maioria das atividades do nosso quotidiano e portanto, sendo totalmente inverosímil, no contexto atual, abdicar das vantagens que oferece a todos os cidadãos [2].

Em 1985, a Comissão das Comunidades Europeias (Diretiva 85/374) declarou que a eletricidade deve ser considerada um produto e, como consequência, tornou-se necessário definir com clareza as suas características essenciais. Assim, a garantia da qualidade é um critério de escolha definida pelos utilizadores industriais ao procurar um fornecedor de energia [3].

O fornecimento e o consumo de energia são temas que merecem particular atenção na sociedade atual. De modo a garantir a satisfação da procura, continua a existir uma forte dependência de combustíveis fósseis por parte das empresas produtoras de energia [4]. A utilização desses combustíveis tem um impacto ambiental discutível, pois tanto pode ser positivo ou negativo, segundo a opinião de diversos autores no que consta à emissão de gases poluentes.

1.1. MOTIVAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a publicação da *International Energy Agency*, a eficiência energética no consumo final assume um papel preponderante para se alcançarem as metas de redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂). A gestão dos consumos apresenta uma contribuição de 38% para o alcance dessas metas, um valor relevante quando comparando, nomeadamente, com a contribuição (apenas 17%) alcançada pela produção de energia a partir de fontes renováveis, como por exemplo energias provenientes de centrais hídricas e eólicas [5]. Neste sentido, tem vindo a verificar-se uma maior sensibilidade para a racionalização do consumo de energia, estando esta mudança de atitude fortemente relacionada com o estabelecimento de legislação e medidas de sensibilização ambientais.

Para aumentar a eficiência energética devem ser tomadas decisões de modo a racionalizar o consumo de energia. Neste sentido surge a definição de Utilização Racional de Energia (URE), que engloba um conjunto de ações e comportamentos que propõem uma utilização da energia de forma mais eficiente. A URE tem como principais objetivos [6]:

- Incentivar uma eficiente gestão da energia;
- Reduzir a intensidade energética, sem prejuízo dos padrões de qualidade de vida/trabalho;
- Diminuir a fatura energética;
- Minimizar os impactos ambientais decorrentes da produção e consumo de energia.

Na gestão do consumo, tem especial relevância a monitorização dos parâmetros relacionados com a energia consumida. A monitorização consiste num processo de medição de grandezas físicas elétricas, de uma ou mais variáveis, com o objetivo de fornecer informações úteis para o fim a que está destinado [7]. É executada a partir de dispositivos analisadores de energia, dispositivos estes que registam variações de parâmetros relacionados com a energia elétrica, cumprindo um conjunto de normas que regulam a qualidade dessa energia.

Através da monitorização é possível quantificar as perdas no fornecimento de energia, que se traduzem em custos para o consumidor. Nesta fase, a deteção de perturbações é uma etapa relevante para se atingir um consumo eficiente da energia, mediante a tomada de decisões baseadas em diagnósticos fiáveis. O conceito de "perturbação" em energia refere-se a um

desvio da tensão ideal, considerando-se um fenómeno que provoca mau funcionamento em equipamentos (falhas ou operação irregular). Os transitórios, as variações de tensão, os desequilíbrios na tensão, a distorção da onda e as flutuações de tensão são exemplos das categorias de perturbações existentes [3], que serão exploradas mais adiante. Deste modo, a monitorização torna-se uma mais-valia para o consumidor, uma vez que permite detetar e agir de maneira a diminuir o impacto das perturbações que mais afetem a instalação elétrica.

Dado o impacto da URE no ambiente e na fatura do consumidor, o presente trabalho pretende a criação de um sistema que permita monitorizar os parâmetros mais relevantes da energia elétrica, medidos por dispositivos analisadores. Pretende-se, deste modo, um sistema que se constitua como uma ferramenta na manutenção dos equipamentos que integram a instalação elétrica das infraestruturas envolvidas, contribuindo para uma gestão mais eficiente da energia e consequente diminuição de encargos.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho assenta no desenvolvimento de um sistema de monitorização de parâmetros de qualidade e consumo de energia elétrica. Neste sentido, é propósito deste trabalho a conceção de uma interface gráfica, denominada como Interface Homem-Máquina (HMI), que permita aceder remota e instantaneamente à informação recolhida de parâmetros de energia. Os diversos dispositivos analisadores são responsáveis por recolher essa informação, nomeadamente sobre os consumos de energia dos edifícios e da Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Estes dispositivos serão instalados em pontos específicos da instalação elétrica do edifício I, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

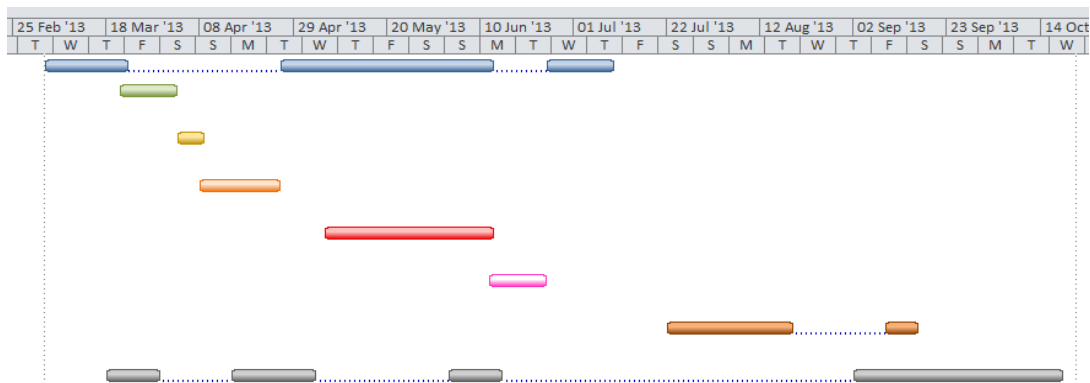
Pretende-se ainda que este sistema ofereça a possibilidade de ser testado em ambiente de simulação, através de uma rede de analisadores de energia, e que seja facilmente adaptável aos restantes edifícios da instituição.

Outro objetivo consiste no desenvolvimento de funcionalidades que permitam o envio, por *email*, de alertas pré-programados. O propósito desses alertas é prestar informações acerca do estado da instalação elétrica, por meio de notificações de eventuais variações anómalas dos parâmetros de consumo e sobre parâmetros da qualidade da energia fornecida.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

Para a realização deste trabalho foi traçado um planeamento das várias tarefas a realizar. No seu desenrolar, sequenciaram-se várias etapas, de maneira a que o projeto contivesse uma estrutura organizada, como está demonstrado no Diagrama de *Gantt* na Tabela 1.

Tabela 1 – Diagrama de *Gantt*.



Legenda:

	Recolha de informação		Registo de dados no edifício F
	Criação e configuração da rede de dispositivos		Tratamento de dados e criação de gráficos
	Testes dos dispositivos em cargas RLC		Programação de eventos nos dispositivos UMG e testes
	Criação da HMI em <i>Adobe Flash Player</i>		Redação da dissertação

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

A presente dissertação está disposta em 6 capítulos. Neste primeiro capítulo foi feita uma introdução à definição e importância da energia, o impacto ambiental inerente ao seu consumo, uma abordagem à racionalização energética e monitorização da QEE, bem como estabelecidos os objetivos deste trabalho, calendarização e o planeamento das suas etapas de execução. No capítulo 2 é apresentado um levantamento de diversos tópicos relacionados com a energia elétrica: a sua definição, qualidade, perturbações e normas associadas, manutenção e a sua importância. São apresentados também estudos estatísticos do consumo de energia a nível mundial. O capítulo 3 debruça-se sobre as definições técnicas do sistema, descrevendo os requisitos do sistema de monitorização a implementar, incluindo os dispositivos e as suas funcionalidades, os protocolos de comunicação e de segurança, o local de armazenamento de dados, a interface gráfica e as ferramentas de desenvolvimento

utilizadas. No capítulo 4 é descrita a implementação do sistema com auxílio de imagens, fluxogramas e tabelas, e ainda evidenciado o local onde serão instalados os dispositivos analisadores de energia. Esta descrição aborda: *(i)* As configurações necessárias para o sistema funcionar; *(ii)* O tratamento de dados realizado dos registos do consumo de energia de um edifício; *(iii)* A programação de alertas em situações de consumos anómalos; e *(iv)* A interface gráfica desenvolvida. No capítulo 5 é exposta a fase de validação do sistema, apresentando os testes e resultados da solução desenvolvida. Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões que permitem dar um desfecho ao trabalho, referindo algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. ENERGIA ELÉTRICA

A monitorização da qualidade da energia elétrica, se realizada através de um sistema apropriado, permite usufruir da energia de forma eficiente. A supervisão dos parâmetros de energia possibilita agir em prol da sua qualidade, no sentido de minimizar as perturbações presentes na rede elétrica. O capítulo anterior introduziu conceitos sobre energia, utilização racional de energia e monitorização. O presente capítulo incide sobre: (i) A definição de energia elétrica; (ii) O impacto ambiental do consumo de energia elétrica, (iii) As perturbações associadas à QEE; (iv) Algumas normas de referência; (v) A importância da manutenção; e (vi) Um estudo de mercado sobre sistemas de monitorização da QEE existentes no mercado.

A eletricidade é uma forma de energia que consiste no fluxo ordenado de eletrões. Existem fontes primárias e secundárias de energia, sendo que as primárias geram energia a partir de recursos naturais¹, ao passo que as fontes secundárias derivam de fontes primárias, sendo usadas para armazenar, mover e entregar facilmente a energia [2].

¹ Petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar [10].

2.1. IMPACTO AMBIENTAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A evolução tecnológica proporcionou uma melhoria da qualidade de vida, mas, ao mesmo tempo, conduziu a um aumento das necessidades energéticas.

Vários autores defendem que, nos processos de geração de energia que recorrem à combustão de matérias fósseis, ocorre a produção de gases poluentes, responsáveis pelo efeito estufa e consequentes alterações climáticas. Deste modo, o aumento do consumo de energia agrava o problema do aquecimento global [8] e, por isso, vários países têm procurado reduzir as emissões de Gases de Efeito de Estufa² (GEE). Para minorar este problema, tem vindo a ser aplicado um conjunto de políticas e medidas que visam a contrariar, ou pelo menos minorar este efeito, que envolvem diversos setores de atividade. Uma dessas medidas diz respeito ao Protocolo de Quioto³, negociado em dezembro de 1997 e que entrou em vigor a 16 de fevereiro de 2005 [9][10].

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), tal como ilustra a Figura 1, o consumo mundial de energia primária quase duplicou entre 1973 (6111 Mtep) e 2009 (12150 Mtep), equivalendo a $2.559 \cdot 10^8$ TJ e $5.087 \cdot 10^8$ TJ, respetivamente. Da análise dos dados em estudo, a par das conclusões provenientes da Figura 1, podemos, naturalmente observar que o aumento do consumo mundial de energia elétrica foi bastante significativo [8].

² GEE – Os Gases de Efeito de Estufa (GEE) são substâncias gasosas, resultantes da combustão de recursos fósseis, como o petróleo ou o carvão, que mantém a superfície da Terra aquecida. A excessiva concentração de CO₂ e outros gases na atmosfera terrestre reduz a libertação de calor para o espaço, provocando um aumento médio desta temperatura e um aquecimento do Planeta [9].

³ O Protocolo de Quioto é um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas, integrando os compromissos assumidos pelos países industrializados de reduzirem as suas emissões de determinados GEE responsáveis pelo aquecimento planetário (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC e SF₆). Note-se que as emissões totais dos países desenvolvidos deviam ser reduzidas em, pelo menos, 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período 2008-2012 [10].

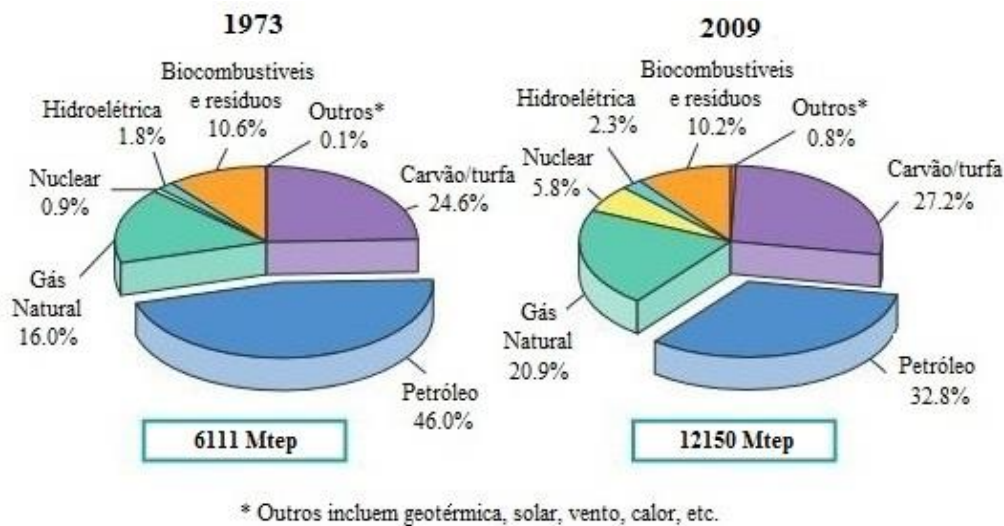


Figura 1 – Consumo mundial de energia primária (adaptado de [8]).

A mesma agência estima que, caso as políticas atuais de consumo de energia se mantenham, no ano de 2035 o consumo total será de 18048 Mtep. Por outro lado, partindo do pressuposto que a aplicação de medidas limitadoras dos GEE na atmosfera será bem sucedida, esse consumo rondará os 14920 Mtep [5][8].

2.2. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A definição atual da qualidade prende-se com a satisfação do cliente/utilizador, isto é, constitui-se pela avaliação de todas as características de um produto, determinando a sua aptidão para satisfazer necessidades específicas [11]. Assim, Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é, de igual modo, definida como um conjunto de características da eletricidade num determinado ponto de uma instalação elétrica, quando avaliada sob um conjunto de parâmetros técnicos de referência [12].

A lei de Ohm estabelece a relação entre a tensão (ou diferença de potencial, V) entre dois pontos de um condutor (de resistência R) e a intensidade de corrente (I) que o percorre [13]. Assim, todo o circuito elétrico precisa de tensão elétrica para funcionar, pois é esta quem produz o campo elétrico no condutor. A variação da corrente ao longo do tempo depende das propriedades do condutor (resistência, capacitância, indutância) como também da variação da tensão elétrica aplicada. Deste modo, entende-se por “sinal elétrico” à variação da tensão elétrica ao longo do tempo. Consequentemente, esse sinal é descrito como o valor da tensão elétrica (V) variante no decorrer do tempo (t).

As “formas de onda” são representações gráficas da forma com que uma onda evolui ao longo do tempo. Maioritariamente, a energia elétrica consumida mundialmente é gerada e distribuída na forma de tensão e corrente alternadas para os vários consumidores, sejam residenciais, comerciais e/ou industriais. Esta tensão/corrente alternada é constituída por certas características: (i) Valor instantâneo; (ii) Período; (iii) Frequência; (iv) Valor máximo; e (v) Valor eficaz [14].

Quando se analisa uma onda de tensão, chama-se “perturbação” a qualquer desvio encontrado em relação à onda da tensão ideal. Os fenómenos eletromagnéticos contribuem para mau o funcionamento de um dispositivo, aparelho ou sistema, acarretando prejuízos tanto para o fornecedor como para o consumidor [15].

Os aparelhos elétricos indutivos⁴ estão sujeitos à criação de um campo magnético interno provocado pela passagem da corrente nos enrolamentos. Quando estes equipamentos são alimentados em corrente alternada (CA), a energia armazenada sob forma de campo magnético tende a contrariar a variação da intensidade da corrente, causando um atraso desta em relação à tensão. Como consequência, existe uma parte da corrente que não realiza trabalho útil, produzindo, assim, energia reativa [14]. O aparecimento de energia reativa faz aumentar as perdas na rede de distribuição e nas instalações de utilização, pelo que o seu consumo deverá ser controlado. Os equipamentos eletrónicos⁵ - constituídos por semicondutores⁶ - têm um comportamento não-linear, provocando perturbações significativas nas formas de onda da corrente e da tensão, que se traduzem em perdas da QEE [4].

Apenas a potência ativa (P) é consumível, no entanto, a potência reativa (Q) representa um desperdício para quem transporta e distribui a energia, visto que as perdas por efeito de *Joule*⁷ dependem do quadrado da intensidade de corrente que percorre os condutores. Logicamente, interessa ao fornecedor de energia que não existam potências a oscilar na rede

⁴ Equipamentos elétricos indutivos: motores, transformadores, etc [4].

⁵ Equipamentos eletrónicos: controladores lógicos programáveis, variadores eletrónicos de velocidade, etc [4].

⁶ Semicondutores – díodos, transístores, tirístores, etc [4].

⁷ Efeito de *Joule* – o aumento de temperatura traduz-se num fluxo de energia térmica do componente/condutor para a sua vizinhança [13].

(energia reativa). A Figura 2 apresenta a relação entre estas três componentes da potência [14].

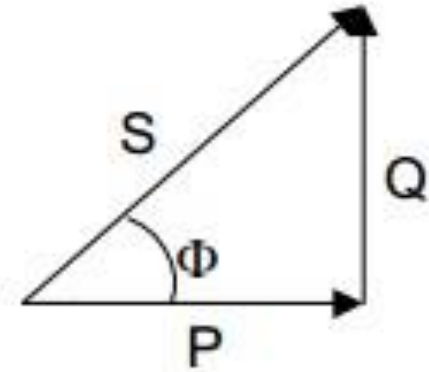


Figura 2 – Triângulo de potências.

Cálculo da potência ativa:

$$P = U * I * \cos(\Phi)$$

Cálculo da potência reativa:

$$Q = U * I * \sin(\Phi)$$

Cálculo da potência aparente:

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

2.3. PERTURBAÇÕES DA QEE

A energia contratada pelo consumidor deve respeitar padrões de qualidade. A QEE é um tema que diverge em vários aspectos, pois a perspectiva adotada varia entre autores ou institutos, consoante o contexto. Deste modo poderá ser difícil quantificar os níveis de qualidade necessários para corresponder às exigências particulares de cada um dos consumidores ao longo do sistema. Assim, os parâmetros que refletem um bom nível de QEE para uns, podem não o ser para outros, por não corresponderem a certas exigências específicas. A compreensão dos problemas envolvidos na qualidade da energia é um bom ponto de partida para solucionar falhas relacionadas com este assunto [12]. Assim, interessa conhecer as várias perturbações existentes.

As perturbações eletromagnéticas podem ser divididas em categorias a fim de classificar os resultados da medição e descrever os fenômenos eletromagnéticos, que causam problemas na QEE. A Tabela 2 enumera esses fenômenos.

Tabela 2 – Divisão em categorias de fenômenos eletromagnéticos (adaptado de [12][16]).

CATEGORIAS	TIPO DE PERTURBAÇÃO	
Transitórios	Impulsionais	
	Oscilatórios	
Variações breves de tensão	Instantâneas	Interrupção Cavas (<i>Sags or Dips</i>) <i>Swells</i>
	Momentâneas	
	Temporárias	
Variações longas de tensão	Interrupção permanente ⁸	
	Subtensões	
	Sobretensões Longas	
Distorção da onda	Harmônicos	
	Inter-harmônicos	
	Micro-Cortes	
	<i>DC offset</i> ⁹	
	Ruído	
Flutuações de tensão	<i>Flicker</i>	
Desequilíbrios na tensão		

2.3.1. TRANSITÓRIOS

Chama-se transitório a uma alteração súbita, não energética, da frequência na tensão ou na corrente, em regime estacionário¹⁰. Os transitórios são eventos, de curta duração, que podem ocorrer desde nanosegundos até milissegundos, podendo ser de dois tipos (Figura 3): (i) Impulsionais; e (ii) Oscilatórios [12].

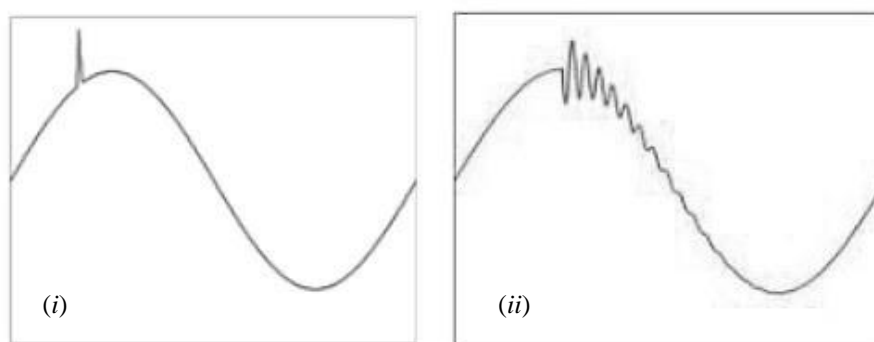


Figura 3 – Exemplos de transitórios: (i) impulsionais; e (ii) oscilatórios [17].

⁸ Interrupção permanente é um tipo de interrupção de longa duração (superior a 1 minuto), que, normalmente, requer uma intervenção manual para que a tensão seja restabelecida [13].

⁹ *DC offset* – termo atribuído quando existe *DC* num sistema *CA* [13].

¹⁰ Regime estacionário – invariável no tempo.

Os transitórios impulsivos identificam-se por apresentarem valores com polaridade unidirecional¹¹. Estes têm um rápido tempo de subida, que se traduz em altas frequências, o que afeta e danifica os aparelhos eletrônicos. Por sua vez, transitórios oscilatórios incluem valores com as duas polaridades¹².

2.3.2. VARIAÇÕES BREVES DE TENSÃO

As variações breves de tensão são causadas por condições de falha, como é o caso da elevada concentração de energia em cargas onde se requer altas correntes de arranque ou da perda intermitente de energia nos barramentos. Dependendo do tipo de sistema e do ponto onde ocorrem as falhas, estas podem causar aumento, redução e interrupção da tensão de forma instantânea, momentânea ou temporária [12].

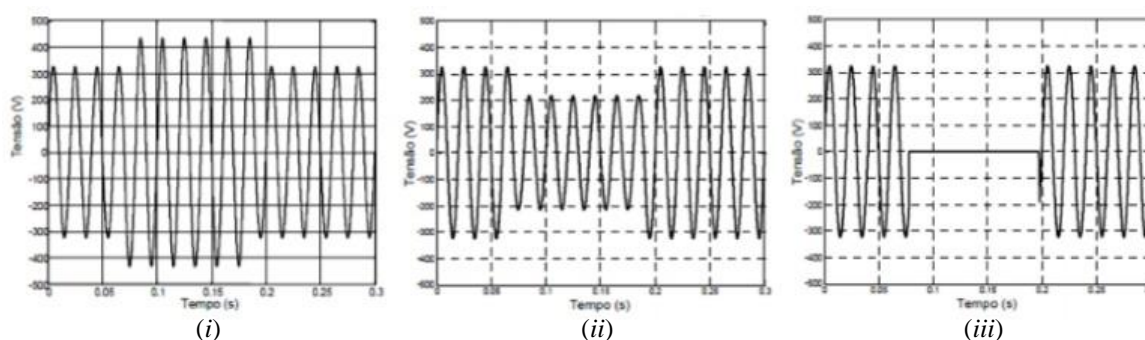


Figura 4 – Exemplos de aumento (i), redução (ii) e interrupção (iii) da tensão [16].

2.3.3. VARIAÇÕES LONGAS DE TENSÃO

Determinadas condições, podem levar a variações longas de tensão, ou seja, momentos onde existe um aumento ou diminuição do valor RMS¹³ da tensão num período igual ou superior a 1 minuto. Estas podem ser classificadas em 3 grupos, dependendo da sua magnitude [12].

- Subtensões – quando o valor RMS da tensão é inferior a 90% do valor nominal;
- Sobretensões longas – quando o valor RMS da tensão é superior a 110% do valor nominal;

¹¹ Polaridade unidirecional – na forma de onda associada à tensão ou corrente, obtém valores ou positivos ou negativos na alteração da frequência [12].

¹² Duas polaridades – na forma de onda associada à tensão ou corrente, obtém valores positivos e negativos na alteração da frequência [12].

¹³ RMS – valor, neste caso da tensão, que se utiliza para determinar a quantidade de energia que um sinal sinusoidal consegue fornecer. O valor RMS da tensão calcula-se através do valor de pico da tensão dividindo por $\sqrt{2}$ [14].

- Interrupção permanente – quando a fonte desce a tensão para um nível que impede o normal funcionamento dos aparelhos.

2.3.4. DESEQUILÍBRIOS NA TENSÃO

Quando se verificam desigualdades no valor da tensão em cada fase estamos perante situações de desequilíbrios na tensão. Este fenómeno é definido como sendo o desvio máximo da média das tensões trifásicas ou correntes, dividido pela média das tensões trifásicas, expressa em percentagem, tal como explicita a equação Eq. (1).

$$Tensão_{desequilíbrio} = \frac{\text{Desvio máximo entre as 3 tensões}}{\frac{\sum 3 \text{ tensões}}{3}} * 100 = (\text{valor em \%}) \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo um *fasor* uma representação de uma função sinusoidal, o desequilíbrio de tensões pode ser representado e definido, segundo a *International Electrotechnical Commission*¹⁴ (IEC), como o rácio de sequência de tensão negativa¹⁵ sobre a sequência de tensão positiva¹⁶ como demonstra a equação Eq. (2) [12].

$$Tensão_{Desequilíbrio} = \frac{V^-}{V^+} \quad \text{Eq. (2)}$$

2.3.5. DISTORÇÃO DA ONDA

A distorção da onda define-se como o desvio da onda periódica das suas características de forma de onda ideal. A distorção da tensão ou da corrente alternada provoca fenómenos que afetam o fornecimento de energia elétrica e prejudicam a qualidade do serviço na rede, tanto do lado do consumidor como do fornecedor [12].

¹⁴ IEC – organização mundial que elabora e publica normas internacionais para todas as tecnologias elétricas e eletrónicas [14].

¹⁵ Tensão negativa – rotação dos *fasores* em sentido horário [12].

¹⁶ Tensão positiva – rotação de *fasores* em sentido anti-horário [12].

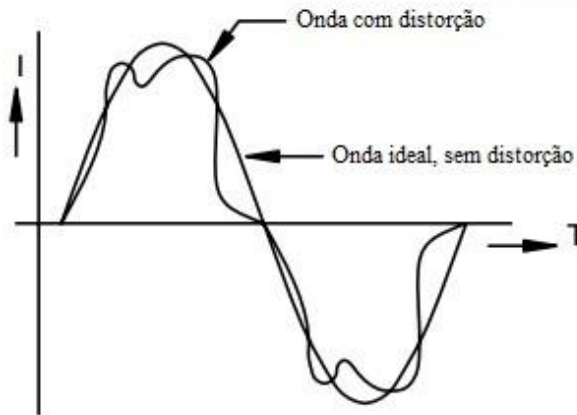


Figura 5 – Exemplo de distorção da onda da corrente (adaptado de [18]).

Abaixo, enumeram-se as principais características que definem a distorção da onda:

- Harmônicos – Fenómeno de distorção das tensões ou correntes sinusoidais com frequências que sejam múltiplos inteiros da frequência fundamental¹⁷. Associa-se à distorção harmónica a deformação periódica da onda sinusoidal, originada por comportamentos não-lineares de cargas, equipamentos eletrónicos, etc., no sistema eléctrico. O instante da comutação *on/off* e vice-versa, provoca fenómenos de instabilidade da rede, que originam comportamentos anómalos e levam à propagação dessas perturbações na rede eléctrica [12].

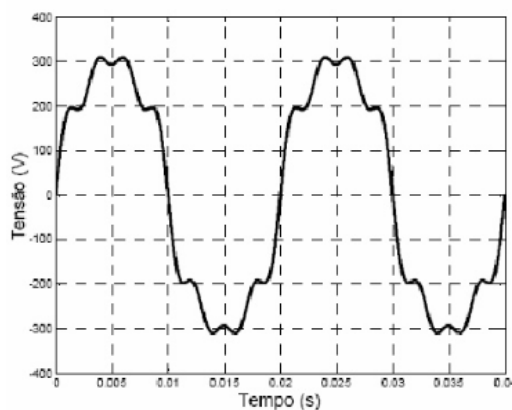


Figura 6 – Exemplo distorção harmónica na tensão [19].

¹⁷ Frequência fundamental – frequência a qual o dispositivo foi concebido para funcionar, normalmente a 50 ou 60 Hz [12].

- Inter-harmônicos – Tensões ou correntes sinusoidais com frequências que não são múltiplos inteiros da frequência fundamental.

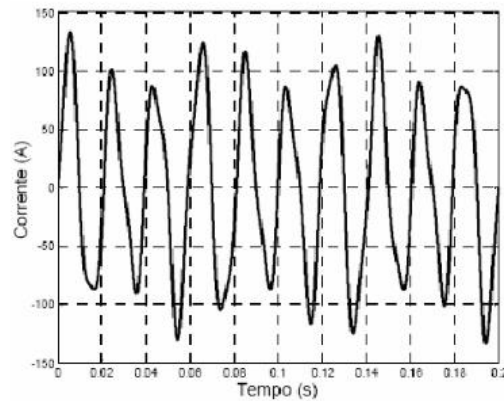


Figura 7 – Exemplo inter-harmônicos na corrente [19].

- Micro-cortes – São perturbações na tensão provocadas durante o normal funcionamento de dispositivos eletrônicos de potência, aquando da comutação da corrente de uma fase para a outra.

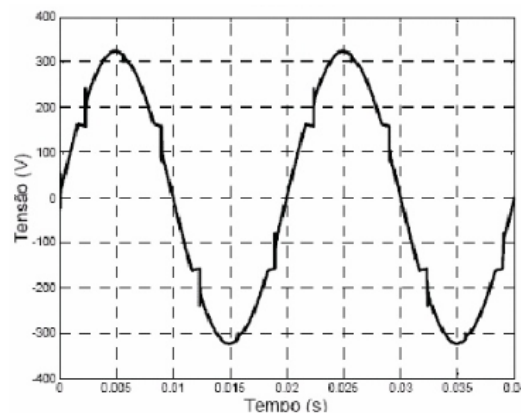


Figura 8 – Exemplo de micro-cortes na tensão [19].

- *DC offset* – Define-se pela presença de uma corrente contínua num sistema de corrente alternada. Este fenómeno pode ocorrer como resultado de uma perturbação geomagnética¹⁸ ou pela assimetria de conversores eletrônicos de potência, causando sobreaquecimentos e conseqüente diminuição do tempo de vida de um transformador.

¹⁸ Magnetismo terrestre.

- Ruído – Define-se como um conjunto de sinais elétricos inconvenientes que produzem efeitos indesejáveis nos circuitos de equipamentos eletrônicos [12].

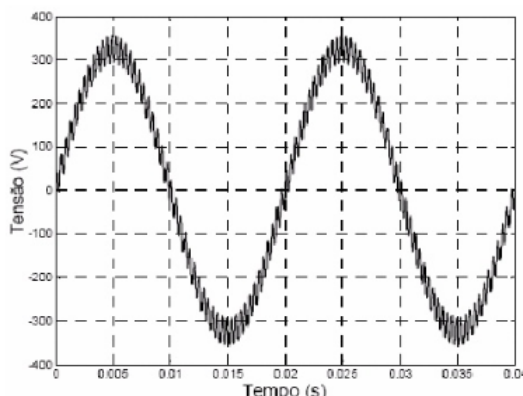


Figura 9 – Exemplo de ruído na tensão [19].

2.3.6. FLUTUAÇÕES DE TENSÃO

Flutuações de tensão consistem em variações do valor eficaz da tensão. A luz trémula é o exemplo clássico deste fenómeno (*flicker*), que é definido pela IEC como a impressão de instabilidade da sensação visual, induzida por um estímulo luminoso, cuja luminância ou distribuição espectral varia com o tempo. As flutuações tratam-se de oscilações de tensão súbitas, com variações de modo perceptível a nível da luminosidade [12].

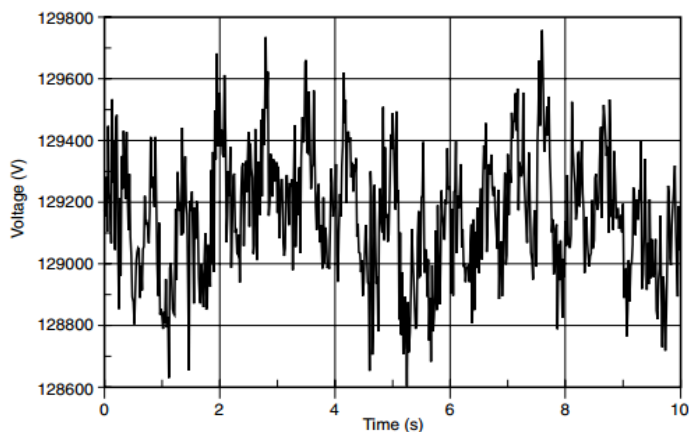


Figura 10 – Exemplo de flutuação de tensão [12].

2.4. MANUTENÇÃO

Os problemas da QEE são difíceis de resolver, podendo, contudo investir-se em alguns equipamentos para os minimizar. A manutenção torna-se uma ação importante no que diz respeito a instalações elétricas e às máquinas existentes (motores, transformadores, etc.),

pois contribui para: (i) A maximização do rendimento dos investimentos feitos nessas máquinas; e (ii) O prolongamento da sua vida útil [4][20]. A Figura 11 apresenta os diversos tipos de manutenção que pode ser realizada.



Figura 11 – Tipos de manutenção (adaptado de [20]).

2.4.1. MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é um método de análise onde existe um acompanhamento dos parâmetros indicadores do nível de desempenho dos equipamentos, visando sempre apurar a eventual necessidade de intervenção. Este tipo de manutenção realiza-se em intervalos pré-determinados e destina-se fundamentalmente à redução da probabilidade de falha/avaria. Decorrendo antes da manutenção preventiva, é uma ação que garante uma maior durabilidade dos equipamentos, levando a que a intervenção aplicada seja baseada em registos e não em suposições. A redução dos custos e dos prazos de manutenção torna-se evidente, devido ao conhecimento antecipado da falha. Deste modo, são melhoradas as condições de funcionamento dos equipamentos, uma vez que, com o aumento do rendimento e produtividade, se obtém um menor desgaste [20].

2.4.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva tem como finalidade identificar possíveis falhas antes da sua ocorrência. Constitui-se num método planeado que realiza, com a devida antecedência, uma intervenção para a evitar a falha. A manutenção sistemática é um tipo de manutenção preventiva, que é prestada em intervalos regulares (quilómetros, horas de funcionamento, etc.) [20].

2.4.3. MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é realizada em equipamentos que já demonstraram falhas e, portanto, urgem de reparação. Na grande maioria das vezes, é um processo dispendioso, obrigando inclusivamente à suspensão da atividade do aparelho. As duas categorias nas quais está dividida são: (i) Manutenção corretiva não planeada¹⁹; e (ii) Manutenção corretiva planeada²⁰ [20].

2.5. NORMALIZAÇÃO

Atualmente as perturbações eletromagnéticas são tratadas nas várias normas internacionais que abordam o tema da QEE. Para combater o aumento destas perturbações, organizações como a Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI), o Comité Europeu de Normalização (CEN), o Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC) e o Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos (IEEE) têm elaborado normas que, entre outras, limitam o conteúdo harmónico nos sistemas elétricos e eletrónicos [4].

2.5.1. REGULAMENTO DA QUALIDADE DE SERVIÇO

Em Portugal, existe o Regulamento da Qualidade de Energia (RQS), sendo este o principal instrumento da QEE do país. Este regulamento estabelece padrões de qualidade no fornecimento de energia elétrica, no que respeita ao número e duração das interrupções de fornecimento (continuidade de serviço), e à qualidade da onda da tensão. Para minimizar os problemas de perturbações na rede, este regulamento aponta à implementação de um quadro de relacionamento entre fornecedores, agentes externos e consumidores, com o objetivo de promover a melhoria dos serviços prestados. Impõe assim um padrão de qualidade estabelecendo os adequados mecanismos de atuação e de monitorização, definindo penalizações para o seu incumprimento [4][15].

2.5.2. NORMA EN 50160

Segundo o CENELEC, a norma EN50160 refere-se ao fornecimento de energia elétrica. Esta define os principais parâmetros da tensão e os respetivos intervalos de desvio admissíveis

¹⁹ Manutenção corretiva não planeada – quando acontece uma falha inesperada aguarda-se até ser reparada [20].

²⁰ Manutenção corretiva planeada – correção feita mediante um planeamento, antes de ocorrer a falha [20].

no ponto de fornecimento aos consumidores em redes públicas de distribuição de baixa e média tensão, em condições normais de funcionamento [21][22]. As características da tensão mais importantes, definidas por esta norma, são: (i) A frequência; (ii) As variações de tensão; (iii) As variações rápidas da tensão; (iv) As cavas de tensão; (v) As interrupções curtas e longas da tensão; (vi) A severidade *flicker*; (vii) As sobretensões transitórias; (viii) O desequilíbrio da tensão; e (ix) A tensão harmónica e a inter-harmónica [22].

2.5.3. NORMA EN 16001

Formulada pelo CEN e pelo CENELEC, a norma EN 16001 tem como objetivo auxiliar as organizações a estabelecer os sistemas e os processos necessários à melhoria da eficiência energética. Esta norma especifica os requisitos necessários para um sistema de gestão da energia, que permita a uma organização desenvolver e implementar políticas e objetivos que tenham em consideração os requisitos legais e a informação relativa a aspetos energéticos significativos [23].

2.5.4. NORMA 61000-4-30

A norma IEC 61000-4-30 define os métodos de funcionamento padrão, a nível internacional, para todos dispositivos de medição de parâmetros de energia, em especial dos parâmetros da QEE. Com o aparecimento desta norma, conseguiu-se minimizar o problema de leitura. Problema esse que consiste na obtenção de diferentes valores dos diversos parâmetros por parte dos dispositivos de diversos fornecedores. Isto é válido para todos equipamentos que se encontrem ligados aos mesmos sinais e que sejam de classe A [24].

A criação de classes permite categorizar a eficácia da medição, ou seja, a precisão dos valores medidos, sendo uma consequência da criação das normas internacionais. Na Tabela 3 estão apresentadas as classes que são atribuídas aos dispositivos de medição.

Tabela 3 – Classes dos dispositivos de medição [24].

CLASSE	DESCRIÇÃO
A	Os dispositivos desta classe devem cumprir os requisitos da norma com um grau de precisão elevado, assim como os algoritmos de medição. Os registos dos dispositivos de diferentes fabricantes têm de ser iguais.
S	Os dispositivos desta classe são menos rigorosos dos que os de classe A. Embora sejam utilizados intervalos de medição equivalentes aos de classe A, os requisitos são menos exigentes. São úteis para pesquisas estatísticas e aplicações contratuais.
B	São dispositivos menos exigentes que os de classe S. São úteis para pesquisas qualitativas, aplicações de solução de problemas e outras aplicações onde a precisão não é um fator determinante.

A certificação dos equipamentos é atribuída por laboratórios designados para o efeito. O exemplo demonstrado na Figura 12 mostra a possibilidade de erros de leitura no registo de uma cava. Esta análise é feita tanto à duração da perturbação como à sua intensidade.

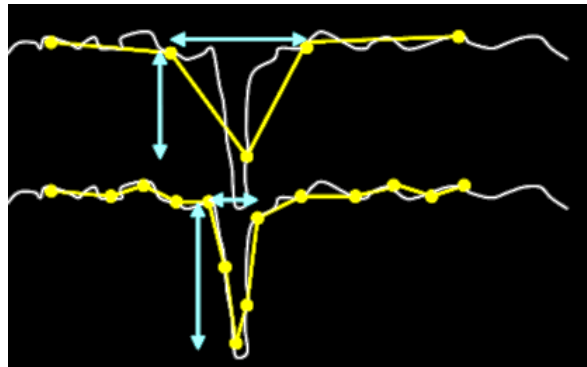


Figura 12 – Exemplo de erros de leitura [24].

Como já foi referido, diferentes analisadores podem obter diferentes leituras de medição quando ligados aos mesmos sinais. Contudo, embora possa verificar-se uma divergência dos valores registados pelos dispositivos analisadores, estes não deixam de estar corretos. A norma 61000-4-30 impõe o modo de funcionamento de cada analisador de classe A, pois terão de reproduzir os mesmos resultados [24].

2.6. SOLUÇÕES DE EQUIPAMENTOS DE MONITORIZAÇÃO

No mercado existem várias soluções de sistemas de monitorização. Esta diversidade deve-se ao facto de existir um grande número de fabricantes de dispositivos medidores da QEE. Deste modo, potencia-se a diversidade de funcionalidades e preços dos equipamentos. Foi realizada uma pesquisa sobre dispositivos eletrónicos de medição de diversos fabricantes, incluindo equipamentos de teste de instalações, para se obter uma comparação de sistemas de monitorização. Na pesquisa realizada encontraram-se diversas marcas de equipamentos de medição: (i) *A-eberle*; (ii) *AEMC Instruments*; (iii) *Algodue Elettronica*; (iv) *ALSTOM*; (v) *AMPROBE*; (vi) *Chauvin Arnoux*; (vii) *Control Applications Ltd.*; (viii) *Dewetron*; (ix) *Electro Industries/Gaugetech*; (x) *Elcontrol*; (xi) *GMC Instruments*; (xii) *Fluke*; (xiii) *HIOKI*; (xiv) *Janitza electronics*; (xv) *KMB systems*; (xvi) *KoCoS*; (xvii) *Megger*; (xviii) *Metralive*; (xix) *Rohde&Schwarz*; (xx) *Schweitzer Engineering Laboratories*; (xxi) *Siemens*; (xxii) *Schneider Electric*; e (xxiii) *TII TeamWare*.

2.6.1. SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO DA QEE EXISTENTES NO MERCADO

Da pesquisa efetuada, foram analisados o *SICAM P855* da *Siemens*, o *Fluke 435 Série II* da *Fluke*, o *Power Logic ION7650* da *Schneider* e o *EPPE CX* da *Kokos Messtechnik AG*. A Tabela 4 apresenta, de uma forma sintetizada, os resultados da análise destes sistemas, focando-se em características como o tipo de instalação, *display*, características analisadas, tipo de analisador e de comunicação, e a funcionalidade de armazenamento e gestão de dados.

Tabela 4 – Análise comparativa de alguns sistemas de monitorização existentes no mercado.

SISTEMA		SIEMENS	FLUKE	SCHNEIDER	KOKOS MESSTECHN IK AG
Tipo de instalação	Marca/Modelo	<i>SICAM P855, class A</i>	<i>Fluke 435 Série II, class A</i>	<i>Power Logic ION7650, class A</i>	<i>EPPE CX, class A</i>
	De mão	N	S	N	N
	Portátil	N	S	N	N
	Instalação fixa	S	N	S	S
Display	Alfanumérica	S	S	S	S
	Gráfica	S	S	S	S
	Osciloscópica	S	S	S	S
Caraterísticas analisadas	Harmónicos / interharmónicos	S/S	S/N	S/S	S/S
	Fator de potência	S	S	S	S
	<i>Flicker</i>	S	S	S	S
	Clashes	S	S	S	S
	Sobretensões	S	S	S	S
	Desequilíbrios	S	S	S	S
	Frequência	S	S	S	S
	Outros	S	S	S	S
Tipo de analisador	Energia	S	S	S	S
	Espectro	S	S	S	S
	Gravador de Transitórios	S	S	S	S
Tipo de comunicação	RS-232	S	N	S	S
	Ligação <i>Ethernet</i>	S	N	S	S
	TCP/IP	S	N	S	S
	Modem	N	GPS 430	S	GSM/GPRS modem
	Outros	RS485, Modbus, etc.	Mini USB, cartão SD.	RS485, Modbus, (email), etc	RS485, USB, etc.
Armazenamento e gestão de dados	Interface <i>online</i> de gestão da rede	S	N	S	S
	Software de configuração	<i>SICAM PQ Analyzer</i>	<i>PowerLog software</i>	<i>Power Logic ION EEM</i>	<i>EPPE software</i>
	Servidor base de dados	S	N	S	S

S – Sim; N – Não.

Nota: Adaptado de [25].

Tal como indicado na tabela anterior, três dos quatro sistemas analisados são de instalação fixa; apenas o *Fluke 435 Série II* é portátil. No que concerne à interface gráfica, todos os sistemas oferecem ao seu utilizador um *display*, onde os sistemas apresentam as mesmas perturbações analisadas. O *Fluke 435 Série II* não analisa inter-harmónicos, distinguindo-se funcionalmente dos restantes sistemas. Outra das semelhanças assenta no facto de todos os sistemas fazerem a medição de energia, a análise do espectro e guardarem os registos das perturbações ocorridas na rede elétrica, inclusive de transitórios. Quanto ao tipo de comunicação, o *Fluke 435 Série II* volta a destacar-se por oferecer menos opções, pois, ao contrário dos restantes sistemas, não possui interface RS232, *Ethernet* nem TCP/IP. Por fim, exceto o *Fluke 435 Série II*, todos os sistemas analisados oferecem uma interface de gestão da rede e um servidor de base de dados.

2.7. SÍNTESE

Este capítulo relatou diversos conceitos acerca da energia e da sua qualidade, estando intrinsecamente relacionados temas como o impacto ambiental associados ao consumo energético e suas tendências, tal como mostram as estatísticas do *IEA*. Existem perturbações na rede elétrica que afetam a QEE e que são responsáveis pela degradação dos equipamentos. A manutenção deve estar presente essencialmente em ambientes comerciais/industriais, visto ser uma ação que ajuda a prever avarias mediante a análise de registos por parte dos dispositivos analisadores, evitando deste modo a paragem de equipamentos por mau funcionamento de forma não planeada. Os sistemas de monitorização atuam no sentido de permitir a supervisão do estado quer da instalação elétrica quer da condição dos equipamentos através da recolha de dados que permitam fazer diagnósticos previsionais de falhas e avarias. Com este tipo de sistemas consegue-se obter uma manutenção preditiva, graças à existência de provas, o que contribui para a diminuição da probabilidade da ocorrência de falhas. Tendo em conta a existência de um vasto conjunto de normas internacionais, que se aplicam nas mais diversas áreas e que são elaboradas pelas diferentes organizações, salienta-se a menção a algumas para o enquadramento deste trabalho. Das normas mencionadas, a EN 50160 referencia a necessidade da definição de parâmetros da tensão essenciais, pois são um ponto de referência na avaliação da QEE [22]. Desta forma, torna-se fulcral a existência de um equipamento de classe A, pelo reconhecimento internacional como um dispositivo de grande precisão e que certamente trará benefícios para a instituição.

3. DEFINIÇÕES TÉCNICAS DO SISTEMA

No capítulo anterior foram apresentados os fenómenos eletromagnéticos que degradam a QEE, salientou-se a importância da manutenção nas instalações elétricas e analisou-se um estudo de mercado sobre as soluções de monitorização já existentes para edifícios comerciais/industriais. Agora, apresentar-se-á as definições técnicas do sistema a desenvolver, definições essas imprescindíveis para a sua implementação. Neste capítulo são, portanto, apresentados: *(i)* Os requisitos e a arquitetura do sistema; *(ii)* As definições técnicas dos dispositivos da rede; *(iii)* Os protocolos de comunicação; *(iv)* A localização do armazenamento de dados; e *(v)* As ferramentas de desenvolvimento utilizadas.

3.1. REQUISITOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A finalidade deste sistema culmina na monitorização da qualidade e no consumo de energia, pretendendo-se que seja implementado num dos edifícios do ISEP, com vista a uma futura expansão para outros edifícios. Para tal, o sistema deve garantir a realização de medições em tempo real e armazená-los em memória para que várias metas sejam alcançadas: *(i)* Possibilitar a análise da qualidade da energia consumida pelas instalações e o estado dos equipamentos; e *(ii)* Alertar sobre comportamentos anómalos na instalação. Para que os fins

a que este sistema se propõe sejam atingidos, é necessário instalar uma rede de dispositivos analisadores de energia elétrica, dispostos em zonas estrategicamente definidas, que comuniquem com um computador onde é feito o armazenamento e a gestão dos dados recolhidos. A Figura 13 representa a arquitetura do sistema.

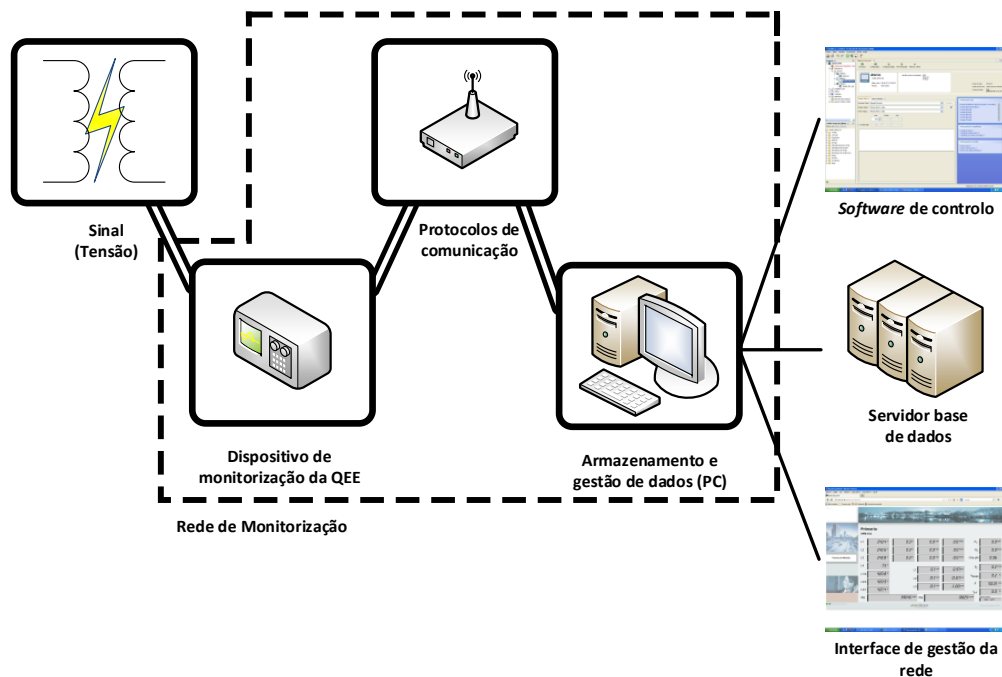


Figura 13 – Arquitetura do sistema (adaptado de [26]).

3.2. REDE DE MONITORIZAÇÃO

O funcionamento de uma rede de monitorização segue, por norma, um conjunto de etapas: (i) Aquisição de dados; (ii) Pré-processamento dos dados; e (iii) Visualização de dados [26]. Neste contexto, existe um conjunto de equipamentos que fazem a medição de parâmetros de consumo de energia e da própria QEE.

Um analisador de energia é um dispositivo capaz de medir os vários parâmetros de energia de uma instalação elétrica; um analisador da QEE é um analisador de energia, contudo, é-lhe atribuída uma designação diferente por estar apto a medir certos parâmetros - que fornecem informações mais específicas - e que permitem avaliar a qualidade da energia. No próximo capítulo na seção 4.4.1, na Figura 19, visualiza-se a diferença dos parâmetros medidos por um analisador de energia e por um analisador da QEE. Na seção 4.4.2 estão apresentados os parâmetros medidos por um analisador da QEE. Particularizando, estes últimos seguem, em especial, as normas 61000-4-30/15, são de classe A, e medem os

seguintes parâmetros específicos: (i) Potência reativa; (ii) Fator de potência ($\cos\Phi$); (iii) Distorção Harmónica Total (THD); (iv) Desequilíbrios de tensão; e (v) *Flicker* [27].

3.2.1. DISPOSITIVOS DE MONITORIZAÇÃO DE ENERGIA

Os equipamentos de medição selecionados e disponibilizados pelo DEE, estão apresentados na Figura 14: (i) *Janitza* UMG 511, analisador da QEE; (ii) *Janitza* UMG 604; e (iii) *Janitza* UMG 96S, sendo estes dois últimos dispositivos classificados apenas como analisadores de energia.



Figura 14 – Dispositivos: (i) UMG 511; (ii) UMG 604; e (iii) UMG 96S.

A aquisição destes dispositivos tem como fundamento supervisionar, em locais específicos, os consumos energéticos, através dos equipamentos (i) (ii) e (iii), e a qualidade da energia elétrica no ISEP, apenas através do equipamento (i). Uma das funcionalidades de qualquer um destes três equipamentos é possibilitar a notificação de anomalias, através do envio de alertas quando são detetados parâmetros de consumo anómalos.

De referenciar que o dispositivo UMG 511 é classificado com classe A²¹, que segue, entre outras, a norma EN50160; tem a capacidade de criar relatórios automáticos sobre a qualidade da energia contratada permitindo, graças a esta função, que uma empresa que se depare com situações de fraca QEE, possa exigir ao fornecedor uma indemnização, podendo utilizar os dados recolhidos por este equipamento como prova para o efeito. Na Tabela 5 estão apresentadas algumas das funcionalidades de cada dispositivo e ilustrados a grande maioria dos parâmetros de consumo de energia mais relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho (categoria ‘Parâmetros de medição’).

²¹ Dispositivo de classe A – ver Tabela 3.

Tabela 5 – Funcionalidades dos dispositivos utilizados.

CATEGORIAS	DESCRIÇÃO	511	604	96S
Parâmetros de medição	Tensão/Corrente efetiva	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	Subtensão	✓		
	Sobretensão	✓		
	Tensão/corrente de pico negativa	✓/✓		
	Tensão/corrente de pico positiva	✓/✓		
	Tensão/corrente de pico-a-pico	✓/✓		
	Valores trifásicos tensão/corrente	✓/✓	✓/✓	
	Frequência	✓	✓	✓
	Potência ativa/reactiva/aparente	✓/✓/✓	✓/✓/✓	✓/✓/✓
	Fator de potência (cosΦ)	✓	✓	✓
	Ângulo de fase	✓	✓	
	Energia ativa/reactiva/aparente	✓/✓/✓		✓/✓
	Energia ativa consumida/fornecida	✓/✓		
	Energia reativa indutiva/capacitiva	✓/✓		
	THD tensão/corrente	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	Harmônicos de tensão/corrente	✓/✓ ²²	✓/✓ ²³	✓/✓ ²⁴
	Inter-harmônicos tensão/corrente	✓/✓		
<i>Flicker</i> (atual/curto/longo)	✓			
Interface	Ligação <i>Ethernet</i>	✓	✓	
	Ligação <i>Modbus</i>	✓	✓	
	RS232		✓	✓
	RS485	✓	✓	✓
Comunicação (Protocolos)	<i>Modbus</i> (RTU, ASCII)	✓	✓	✓
	<i>Profibus</i> (DP)	✓	✓	✓
	<i>Ethernet</i> (TCP/IP)	✓	✓	
Serviços	HTTP (páginas <i>web</i>)	✓	✓	
	SMTP (<i>email</i>)	✓	✓	
	DHCP (IP dinâmico)	✓	✓	
Segurança	Palavra-passe	✓	✓	✓
Programação	<i>Jasic</i> /Diagrama de blocos	✓/✓	✓/✓	

²² Análise do 1° até ao 63° harmónico.

²³ Análise do 1° até ao 40° harmónico.

²⁴ Análise do 1°,3°,5°,7°,9°,11°,13° e 15° harmónicos.

3.2.2. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Protocolo de um sistema de comunicação é definido como o conjunto de regras necessárias para assegurar a troca de dados entre vários elementos [28]. Sem a existência destas regras, a comunicação tornar-se-ia caótica, uma vez que a conexão e a transferência de dados entre máquinas não se realizaria de todo ou de uma maneira rápida e eficiente. Na Tabela 6 são apresentados os protocolos TCP, IP, e *Modbus* (RTU/ASCII).

Tabela 6 – Descrição de alguns protocolos de comunicação (adaptado de [28]).

PROTOCOLOS	DESCRIÇÃO
TCP	Protocolo que garante que as mensagens chegam intactas e na ordem correta ao destino final.
IP	Trata-se de um protocolo de comunicação onde as mensagens são encaminhadas de forma a encontrarem uma rota através de uma rede complexa.
<i>Modbus</i>	Protocolo usado em sistemas mestre/escravo em modo binário (RTU) ou fluxo de texto (ASCII). São utilizados, por exemplo, no transporte de dados para se ter acesso a um conjunto de registos de um Controlador Lógico Programável (PLC) para leitura/gravação de dados.

Existem alguns serviços²⁵ universais associados ao conjunto de protocolos de comunicação TCP/IP, onde cada um realiza um conjunto de tarefas de comunicação, são importantes na implementação deste trabalho [28]: (i) *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP); (ii) *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP); e (iii) *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Descrição de alguns serviços TCP (adaptado de [28]).

SERVIÇOS	DESCRIÇÃO
DHCP	Através deste serviço é possível atribuir automaticamente endereços IP a dispositivos na rede, evitando assim a gestão dos endereços em cada dispositivo de maneira individual.
SMTP	Utiliza-se este serviço para transmissão de <i>emails</i> . Assim, é possível o envio de mensagens entre um emissor e um recetor via servidor de <i>mail</i> SMTP.
HTTP	Este serviço permite a transmissão de páginas <i>web</i> entre um servidor e um <i>browser</i> .

As redes industriais/comerciais levaram a era digital a milhões de utilizadores e, em simultâneo, a interligação de vários computadores às redes de informação, pelo que passou

²⁵ Um serviço é um conjunto de operações implementado por um protocolo através de uma interface. A camada de aplicação reúne os protocolos que fornecem serviços de comunicação, quer ao sistema quer ao utilizador [28].

a ser possível a partilha de recursos e de dados. Sempre que existe uma fuga de informação e/ou conteúdos privados, levando-os à exposição social, considera-se uma fragilidade do sistema.

Existe, por isso, uma necessidade de contornar esta situação, recorrendo-se a métodos de segurança nas redes informáticas [29]. Seguidamente estão descritos os métodos de segurança: (i) *Secure Socket Layer* (SSL); e (ii) *Secure Shell* (SSH) - métodos projetados para encriptar comunicações TCP/IP, que são decifradas através de autenticação.

- SSL – Implementa processos de descriptação mais complexos, uma vez que envolvem entidades que emitem certificados digitais (*Certification Authority*) e criam a necessidade da existência de uma ligação segura (*https*). É usado normalmente em ligações que envolvem números de cartão de crédito, contas bancárias, etc.
- SSH – Não envolve processos tão complicados nem a exigência de ligações seguras (modo *https*) ou certificados digitais, mas garante segurança por realizar ligações cliente-servidor eficientes. Este tipo de segurança é utilizada na ligação entre dispositivos/computadores [30].

3.3. ARMAZENAMENTO E GESTÃO DE DADOS

O armazenamento e gestão de dados é fundamental para o sistema de monitorização. Para esse efeito, será necessário um PC que disponha do programa *GridVis*, para que seja possível: (i) Parametrizar e supervisionar a rede; (ii) Guardar os registos no PC; (iii) Criar gráficos dos parâmetros de consumo de energia e relatórios da QEE; e (iv) Visualizar os parâmetros medidos pelos dispositivos, introduzindo o IP do equipamento num *web browser*.

3.4. INTERFACE GRÁFICA (HMI)

Para desenvolver um sistema deste género, é necessário ter em consideração o perfil do seu utilizador, procurando desenvolver uma *Human-Machine Interface* (HMI) fácil de manipular. Pretende-se, então, a criação de uma HMI que organize e imprima, no ecrã do utilizador, a informação importante em ambiente gráfico, amigável e intuitivo [17]. Neste sistema, interessa que a interface apresente os edifícios do ISEP, os locais onde vão ser instalados os dispositivos analisadores de energia e que apresente os parâmetros de consumo de energia que cada dispositivo está a medir, quando solicitados.

3.5. FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste projeto implica a utilização de diversas ferramentas, apresentadas na Tabela 8, que permitem criar um sistema de monitorização robusto, capaz de analisar a qualidade e o consumo de energia elétrica, de forma eficiente.

Tabela 8 – Ferramentas de desenvolvimento.

Rede de monitorização	Configurações do sistema		<ul style="list-style-type: none"> • Linguagem <i>Jasic</i> • Diagrama de blocos
	<i>Emails</i>		
Interface gráfica (HMI)			<ul style="list-style-type: none"> • Linguagem C++

3.6. SÍNTESE

A rede de monitorização assenta nos dispositivos UMG 511, 604 e 96S, da *Janitza*, comunicantes através do protocolo TCP/IP entre PC-mestre usando o meio *Ethernet*, e o protocolo *Modbus* (RTU) entre mestre-escravo. Tendo em vista a segurança do sistema, foram apresentados os métodos SSH e SSL para a segurança das configurações da rede. Uma vez que é necessário um local para armazenamento e gestão de dados, a melhor opção é um PC. O registo dos valores dos consumos de energia serve para as etapas seguintes do trabalho.

Para concretizar este projeto definiram-se as ferramentas de desenvolvimento, nomeadamente o *Adobe Flash Professional* para a realização da HMI, e o programa *Gridvis* quer para a configuração da rede quer para a programação de alertas.

O capítulo seguinte explora a fase de desenvolvimento deste sistema, explicando, cronológica e concetualmente, as suas etapas.

4. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

O capítulo anterior apresentou as definições técnicas do sistema de monitorização. Este, procura esclarecer o leitor sobre a fase de implementação, de uma forma geral na primeira seção e, nas seções seguintes, a criação e parametrização da rede de dispositivos analisadores de energia, o desenvolvimento da HMI e a configuração de alertas por *email*, recorrendo a figuras, diagramas e fluxogramas.

4.1. DESCRIÇÃO GERAL DA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação deste trabalho assenta em dois blocos fundamentais: (i) Rede de monitorização; e (ii) HMI, que reúne e organiza a informação da rede, tal como representados na Figura 15 – Diagrama geral da implementação.

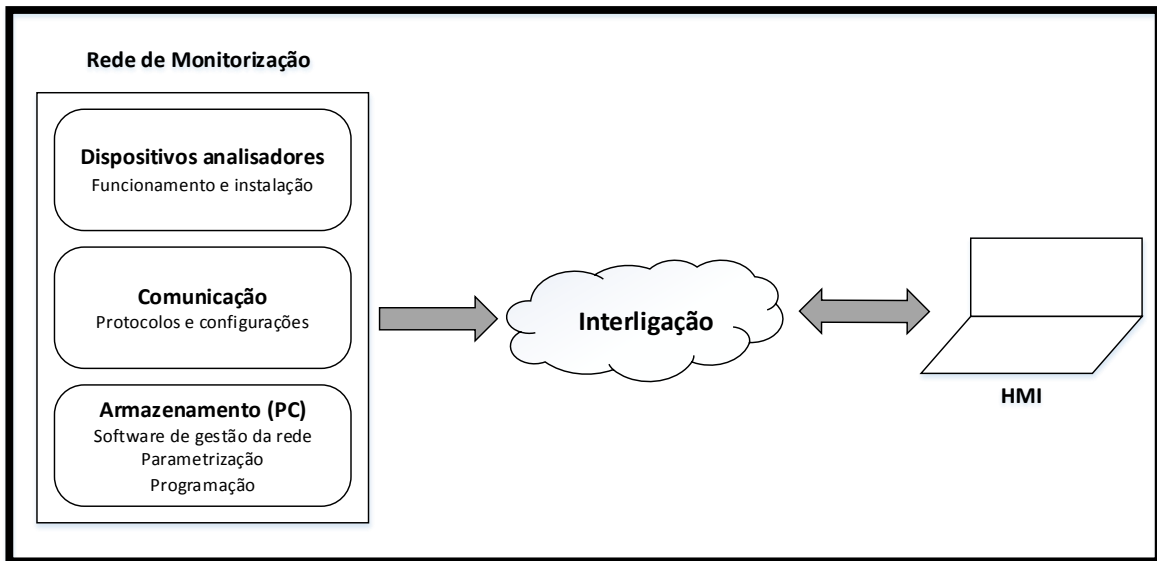


Figura 15 – Diagrama geral da implementação.

4.2. LOCAL DA IMPLEMENTAÇÃO DOS DISPOSITIVOS

Os equipamentos de medição foram projetados para serem instalados no edifício I do ISEP, uma vez que é aqui que se encontra o Posto de Transformação (PT)²⁶, imprescindível para o funcionamento do sistema. Deste modo, o dispositivo UMG 511 encontra-se instalado no lado do enrolamento primário do Transformador de Tensão (TT) para medir os parâmetros de consumo e da QEE, enquanto que na parte do enrolamento secundário do transformador, está instalado o UMG 604, apto para medição dos parâmetros de consumo de energia, de forma a poder realizar-se esta medição (Figura 16). Note-se que ambos os equipamentos estão programados para enviar notificações via *email* em caso de consumos irregulares. O dispositivo UMG 96S está instalado no quadro elétrico do Laboratório de Máquinas Elétricas (LME), constituindo-se este como um local de elevado consumo, comparativamente quando comparado com uma sala de aula comum, visto existirem ensaios com motores e diversos dispositivos eletrónicos.

²⁶ Posto de Transformação é uma instalação onde se procede à transformação da energia elétrica de média tensão para baixa tensão, alimentando a rede de distribuição de baixa tensão [4].

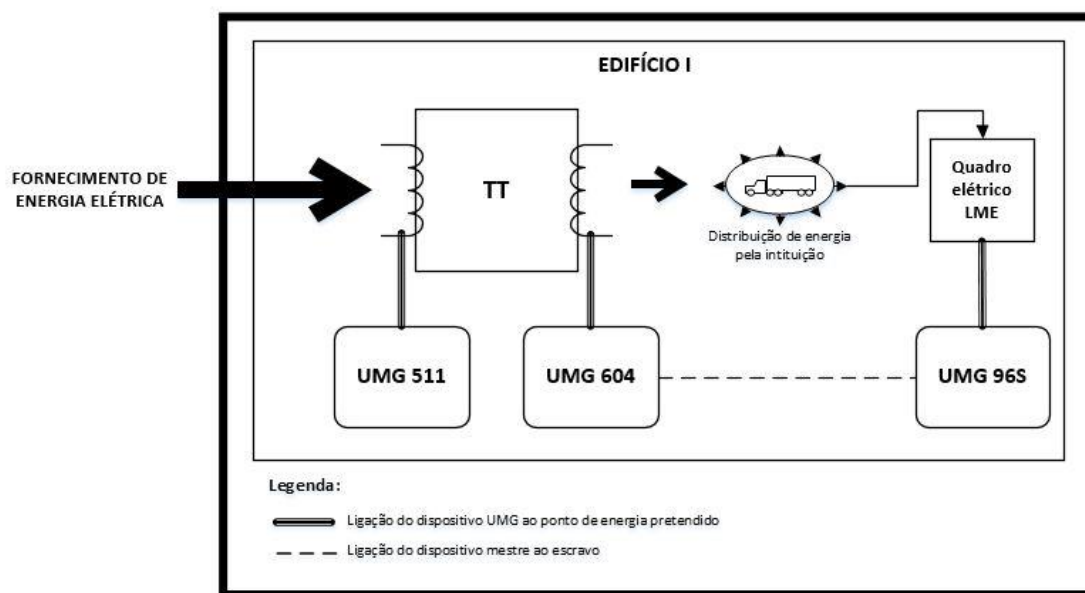


Figura 16 – Esquema da instalação dos dispositivos UMG.

Tendo em consideração as condições propícias oferecidas pelo LME, este tornou-se o local ideal para o desenvolvimento deste projeto, tendo sido utilizadas as ferramentas e dispositivos anteriormente mencionados, como ilustra a Figura 17.

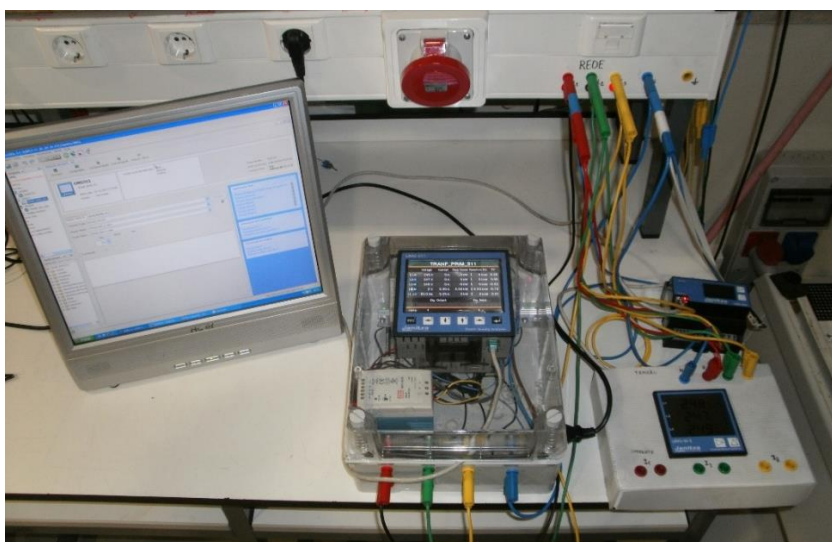


Figura 17 – Equipamento de trabalho no LME.

4.3. COMUNICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE MONITORIZAÇÃO

A Figura 18 apresenta o funcionamento da rede de comunicação entre os dispositivos e o PC, bem como o tipo de ligações presentes. Os dispositivos mestres (UMG 511 e UMG 604) estão ligados à rede local do ISEP através de uma ligação *Ethernet*, usando o protocolo TCP/IP, cujos endereços dos dispositivos são 10.0.20.46 e 10.0.19.127 respetivamente. O PC, responsável por supervisionar a rede, está também ligado à mesma, utilizando o mesmo tipo de ligação e protocolo. A utilização de um *browser* possibilita a visualização dos parâmetros de consumo de energia em tempo real, dos dispositivos UMG, no entanto, esta visualização apenas é possível na rede local (*intranet*). O dispositivo UMG 96S desempenha o papel de escravo e envia a informação solicitada pelo UMG 604. Encontra-se conectado através deste mestre, segundo uma ligação RS485, que comunica através do protocolo *Modbus* (RTU).

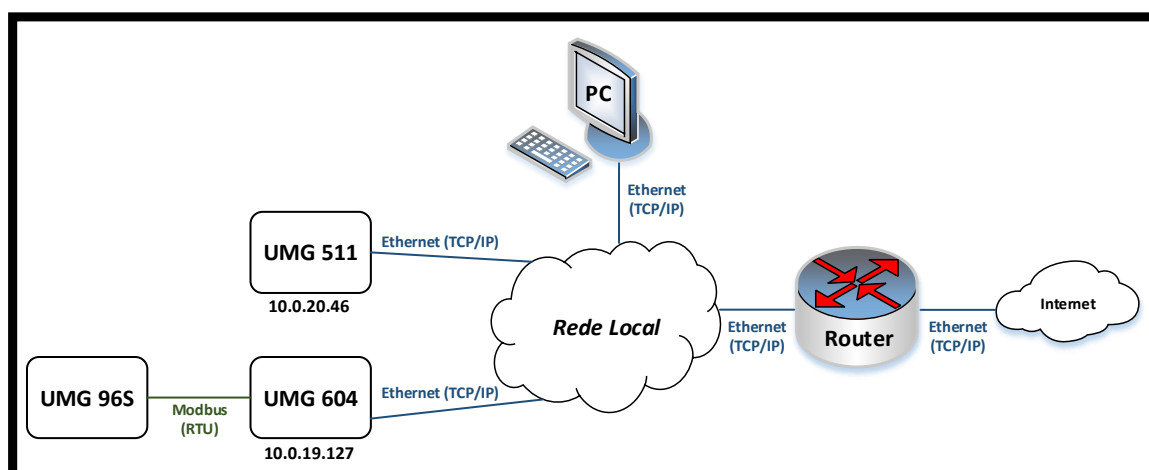


Figura 18 – Esquema da comunicação.

4.4. ARMAZENAMENTO E GESTÃO DE DADOS (PC)

Através do PC e do programa *GridVis*, é possível parametrizar e configurar o sistema, de forma a cumprir os objetivos deste trabalho, sendo estas as ferramentas essenciais que permitem programar alertas, por meio do fornecimento de informações sobre o estado da instalação elétrica e, também, sobre a QEE.

4.4.1. PARAMETRIZAÇÃO

Como já mencionado anteriormente, da análise dos parâmetros medidos pelos dispositivos (apresentados grande parte na Tabela 5), é possível fazer-se um estudo relativo quer ao

estado da instalação, quer à QEE. Na Figura 19 estão apresentados todos os parâmetros de consumo de energia que cada dispositivo UMG está apto para registar. Contudo, existem outros parâmetros que, apesar de não terem sido explorados com detalhe neste trabalho, uma vez que não servem diretamente para análise da energia ou da sua qualidade, são igualmente importantes para controlar algumas operações: (i) ‘Sinal controlo de *Ripple*’; (ii) ‘Entradas/Saídas Digitais’; (iii) ‘Medição de temperatura’; (iii) ‘Estatística NTP’; (iv) ‘Saída analógica’; (v) ‘Comparadores’; (vi) ‘*Diagnostic*’; e (vii) ‘*Run-time*’. Salienta-se que estes parâmetros possibilitam a implementação de outras funcionalidades, como é o caso da capacidade de verificação da temperatura em transformadores.

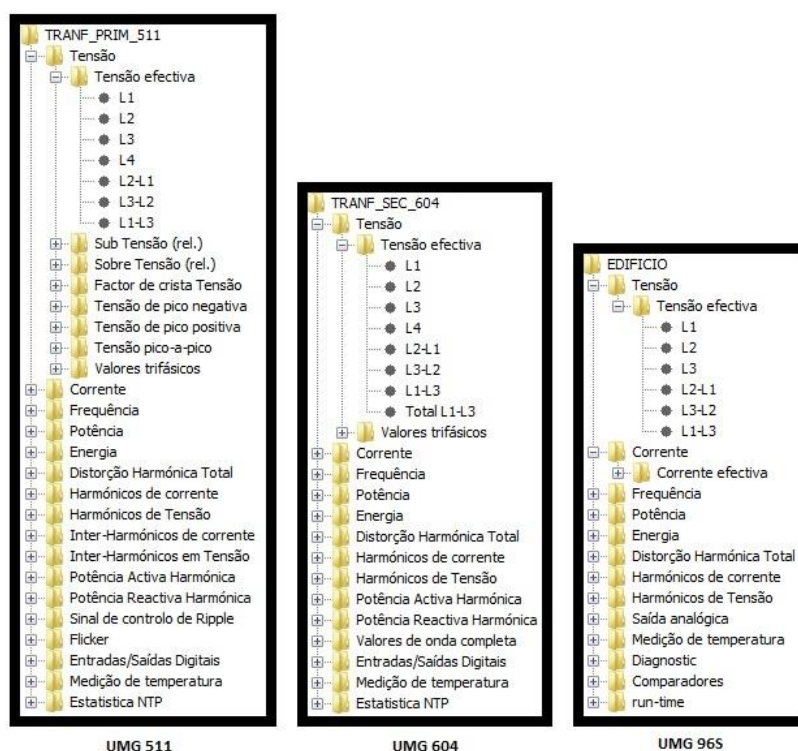


Figura 19 – Parâmetros de cada dispositivo.

De forma a tornar o sistema de monitorização operacional, foi necessário parametrizar os analisadores de energia através do *GridVis*, destacando-se, entre vários campos configurados, como os mais relevantes:

- ‘Transformador’ – O TT foi configurado, com a razão de transformação de 400V/400V - devido à existência de tensões compostas - e o Transformador de Corrente (TI) a 1000A/1A (por indicações do equipamento em questão);

- ‘Eventos’ – Os dispositivos foram configurados para registrar eventos anómalos, como sobretensões, subtensões, cortes de tensão e cortes de corrente. Os valores configurados são apresentados em porcentagem²⁷ e são valores *default*.
- ‘Transitórios’ – A configuração dos transitórios foi feita com valores *default* (em porcentagem) para registrar alterações súbitas da frequência na tensão ou na corrente em regime estacionário;
- ‘Variantes de medida’ – Foi escolhido um esquema cuja instalação fosse trifásica com neutro (L1, L2, L3, LN);
- ‘Valores Nominais’ – Foram calibrados os valores nominais de entrada com o auxílio dos gráficos criados quer da tensão (230V em cada uma das três fases) quer da corrente (50A em cada uma das três fases);
- ‘Configuração da gravação’ – Foram escolhidos os parâmetros de energia relevantes para fazer as medições de consumo de energia e da QEE;
- ‘Fuso horário’ – Foi configurada a data da mudança da hora e sincronizada a hora;
- ‘Portas série’ – Foi configurado o ID do dispositivo, o modo de funcionamento do aparelho (mestre ou escravo) e a taxa de transmissão da comunicação (9600 baud).
- ‘Configuração IP’ – Foi escolhido o modo DHCP para atribuição dinâmica dos IP’s dos dispositivos UMG 511 e UMG 604 na rede;
- ‘Flicker’ – Foi definida a tensão de cada fase, assim como a frequência da rede (230V/50Hz), opção disponível apenas no equipamento UMG 511.

Na Tabela 9 estão organizadas as imagens relativas às configurações mais relevantes, no intuito de auxiliar a descrição acima redigida.

²⁷ Valores em porcentagem – Por exemplo, o valor 110% significa que quando é medido um parâmetro de consumo 10% acima do valor denominado como nominal, os dispositivos registam esses eventos)

Tabela 9 – Ilustração das imagens das configurações.

CONFIGURAÇÃO	DESCRIÇÃO		
	511	604	96S
Identidade	Nome: <input type="text" value="TRANF_PRIM_511"/> Descrição: <input type="text" value="Janitza UMG511"/>	Nome: <input type="text" value="TRANF_SEC_604"/> Descrição: <input type="text" value="Janitza UMG604"/>	Nome: <input type="text" value="EDIFICIO"/> Descrição: <input type="text" value="UMG965"/>
Transformador	Entrada principal Transformador de Tensão: Primário: <input type="text" value="400,0"/> V / Secundário: <input type="text" value="400,0"/> V Transformador de Corrente: <input type="text" value="1.000,0"/> A / <input type="text" value="1,0"/> A		
Eventos	Entrada principal Sobre tensão: Manual / 110 Sob tensão: Manual / 85 Sobre corrente: Manual / 110 histerese: 2 Corte de tensão: Manual / 5 histerese: 2 Sobre corrente: Manual / 110 histerese: 2 L1: Sobre tensão: Manual / 110, Sob tensão: Manual / 85, Sobre corrente: Manual / 110 L2: Sobre tensão: Manual / 110, Sob tensão: Manual / 85, Sobre corrente: Manual / 110 L3: Sobre tensão: Manual / 110, Sob tensão: Manual / 85, Sobre corrente: Manual / 110 L4: Sobre tensão: Manual / 110, Sob tensão: Manual / 85, Sobre corrente: Manual / 110		
Transitórios	Tensão: Absoluto: Manual, Declive: Manual, Envolvente: Manual, Corrente: Absoluto: Manual Tensão: Absoluto: Manual, Declive: Manual, Envolvente: Manual, Corrente: Absoluto: Manual		
Variantes de Medida	Medição Tensão: <input type="text" value="Quatro fios"/> Medição Corrente: <input type="text" value="Três fios"/>		
Configuração da gravação	53 de 333 valores: Tipo de valores: Média (aritmética) / Média (RMS) / Mínimo / Máximo / Amostras / Período de integração: 10 50 de 333 valores: Tipo de valores: Média (aritmética) / Média (RMS) / Mínimo / Máximo / Amostras / Período de integração: 10 P(L1..L3) / Q Soma / S Soma: 15 min I(L1-N, L2-N, L3-N) / I soma / cos phi soma: 15 min U(L1-N, L2-N, L3-N) / P soma / Q soma: 15 min U(L1-L2, L2-L3, L3-L1) / P soma / Q soma: 15 min Energia activa / Energia reactiva ind.: 15 min Eventos limite: 15 min		
Fuso horário	Desvio de tempo: 0 sec Mudança de hora: 3600 sec Mês: Março / Primeiro dia do mês: 25 / Dia da semana: Domingo Outubro / Primeiro dia do mês: 25 / Dia da semana: Domingo		
Portas série	ID do dispositivo: 250 / Usado para RS: RS485 / Mestre Modbus (Gateway) / Taxa de transmissão: 9600 Baud ID do dispositivo: 109 / Usado para RS232 (M) / Mestre Modbus (Gateway) / Taxa de transmissão: 9600 Baud		
Configuração IP	definições IP: Modo: DHCP / identificação para servidor DHCP: UMG511-5110-1227 / predefinição de endereço IP: 10. 0. 20. 46 / Máscara de subrede: 255.255.255. 0 / gateway predefinida: 10. 0. 20.250 definições IP: Modo: DHCP / identificação para servidor DHCP: UMG604-7000-0689 / predefinição de endereço IP: 10. 0. 19.127 / Máscara de subrede: 255.255.255. 0 / gateway predefinida: 10. 0. 19.250 definições DNS: servidor DNS: 193.136. 63. 3		
Flicker	Modo de Flicker: <input type="text" value="230 V / 50 Hz"/>		

4.4.2. TRATAMENTO DE DADOS

Para proceder à programação de alertas por *email*, foi necessário, em primeira instância, fazer o registo dos consumos, neste caso do edifício F – único edifício onde foi possível a recolha de dados – de forma a serem obtidos valores que servem de referência para a programação. Após esta fase de registo, foi necessário recorrer ao tratamento de dados, no PC, para possibilitar a criação de tabelas e gráficos com a finalidade de auxiliar na programação dos alertas dos parâmetros de consumo de energia.

Com a ferramenta *GridVis* e os registos em cada dispositivo analisador, foi possível criar relatórios com as medições efetuadas. Não obstante, apenas o dispositivo UMG 511 é classificado como analisador da QEE, por ser o único de classe A e por medir: (i) A grande maioria das perturbações mencionadas na Tabela 2; e (ii) Todos os parâmetros descritos na lista abaixo [17][27]:

- (i) Tensões e correntes das linhas, com vista à obtenção de informação sobre os desequilíbrios dos sistemas trifásicos;
- (ii) Harmónicos e inter-harmónicos de tensão e corrente, permitindo auferir sobre o estado da instalação e da QEE;
- (iii) Sobretensões, subtensões e interrupções – no sentido de avaliar as variações curtas e longas de tensão;
- (iv) *Flicker*, para detetar flutuações de tensão;
- (v) Potência ativa, reativa, aparente e fator de potência ($\cos\Phi$), estando estes parâmetros mais relacionados com o custo da energia.

4.4.3. CRIAÇÃO DE TABELAS E GRÁFICOS

Com a finalização desta etapa, é agora possível avaliar o padrão de consumo de energia do edifício F, de modo a poder utilizar-se os dados para fazer a programação dos referidos alertas. O tratamento de dados é realizado posteriormente em *Excel* para permitir a construção de gráficos. O *GridVis*, apesar de apto para a criação de gráficos, não possibilita a utilização dos registos para criação de tabelas dos alertas, daí que o tratamento dos dados seja posteriormente em *Excel*, pela facilidade na construção de gráficos.

Assim, foram escolhidos determinados parâmetros de consumo de energia, apresentados na Tabela 10, que permitem analisar tanto o estado da instalação, como informações elucidativas sobre a QEE. Na referida tabela encontra-se uma descrição do tipo de tratamento

a que foram sujeitos os registos para possibilitar a criação de gráficos (agrupados quer por semanas quer por dias iguais de cada semana) e consequente programação. Nas variáveis corrente e a tensão, foram registados os valores das três linhas do sistema trifásico (1,2,3) e, consequentemente, criados gráficos ilustrativos dos valores instantâneos e médios diários, de 10 em 10 minutos. No caso da potência ativa, foram registados os valores do somatório das três linhas trifásicas e criados gráficos onde se apresentam os valores instantâneos e médios diários, de 10 em 10 minutos. Por fim, para a energia ativa consumida, registaram-se igualmente os valores do total das três linhas trifásicas, sendo que os gráficos criados apenas são representativos dos valores instantâneos, de hora em hora.

Tabela 10 – Parâmetros para criação de alertas.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
Corrente (A)	Registo de valores das linhas 1, 2 e 3 Registo diário
Tensão (V)	Valores instantâneos e médios (intervalos de 10 min.)
Potência ativa (W)	Registo de valores do total das linhas 1, 2 e 3 Registo diário Valores instantâneos e médios (intervalos de 10 min.)
Energia ativa consumida (W/h)	Registo de valores do total das linhas 1, 2 e 3 Registo diário Valores instantâneos (intervalos de 1 hora)

Na Figura 20 estão apresentados exemplares das tabelas relativas aos valores registados da corrente, pelo dispositivo UMG 511. Na tabela denominada por ‘I med_m_M’, estão apresentados os dados de registo: (i) Da corrente média, do valor mínimo e máximo (‘I real médio’, ‘I real mínimo’ e ‘I real máximo’, respetivamente); (ii) Do dia, mês e dia da semana; (iii) Da linha do sistema trifásico em questão (neste caso, linha 1 ‘IL1’); e (iv) Da hora do registo dos dados de 10 em 10 minutos (‘Tempo’). Na tabela, denominada por ‘Val horas médio’, é feita a média aritmética da corrente de hora em hora a partir da tabela ‘IL1 real gráficos’, onde se retiraram os dados da ‘Média de cada hora da corrente’ para criar gráficos relativos à corrente média. Os limites superior e inferior têm como objetivo delimitar os valores de tolerância das grandezas físicas elétricas que, através dos limites estipulados, permitirá a criação dos valores para a programação dos alertas. Na imagem ‘Alertas’ está apresentada a tabela que irá auxiliar o desenvolvimento da programação, estando presentes os valores a introduzir, que estão mencionados na seção 5.4. Na mesma imagem, ‘Limites’ (superior e inferior), servem apenas de legenda para os gráficos. Encontra-se também, a percentagem que foi concebida para criar os alertas, denominado por ‘% desvio’, esclarecida igualmente na mesma seção. Nas imagens respeitantes ao ‘Gráfico 1’ e ‘Gráfico 2’ estão

apresentados os resultados dos consumos de energia da corrente na semana 5 e das terças-feiras registadas. A escolha deste dia, terça-feira, prende-se pelo facto de se ter registado um súbito pico de corrente, constituindo-se, portanto, numa prova de grande importância que um sistema de monitorização possui num estabelecimento comercial/industrial. Foram criados gráficos quer das semanas de registo (2^a a domingo), quer dos mesmos dias de consumo (agrupamento por dias da semana, a título exemplificativo, o gráfico de todas as terças-feiras de registo), com o intuito de fazer uma mais completa análise sobre as diferenças dos consumos, em prol da escolha do valor de ‘% de desvio’.

Nos *Anexos*, encontra-se a informação relativa às tabelas criadas a partir dos registos dos parâmetros apresentados Tabela 10. As tabelas das diferentes grandezas seguem a mesma estrutura, embora apresentem diferentes valores de registo.

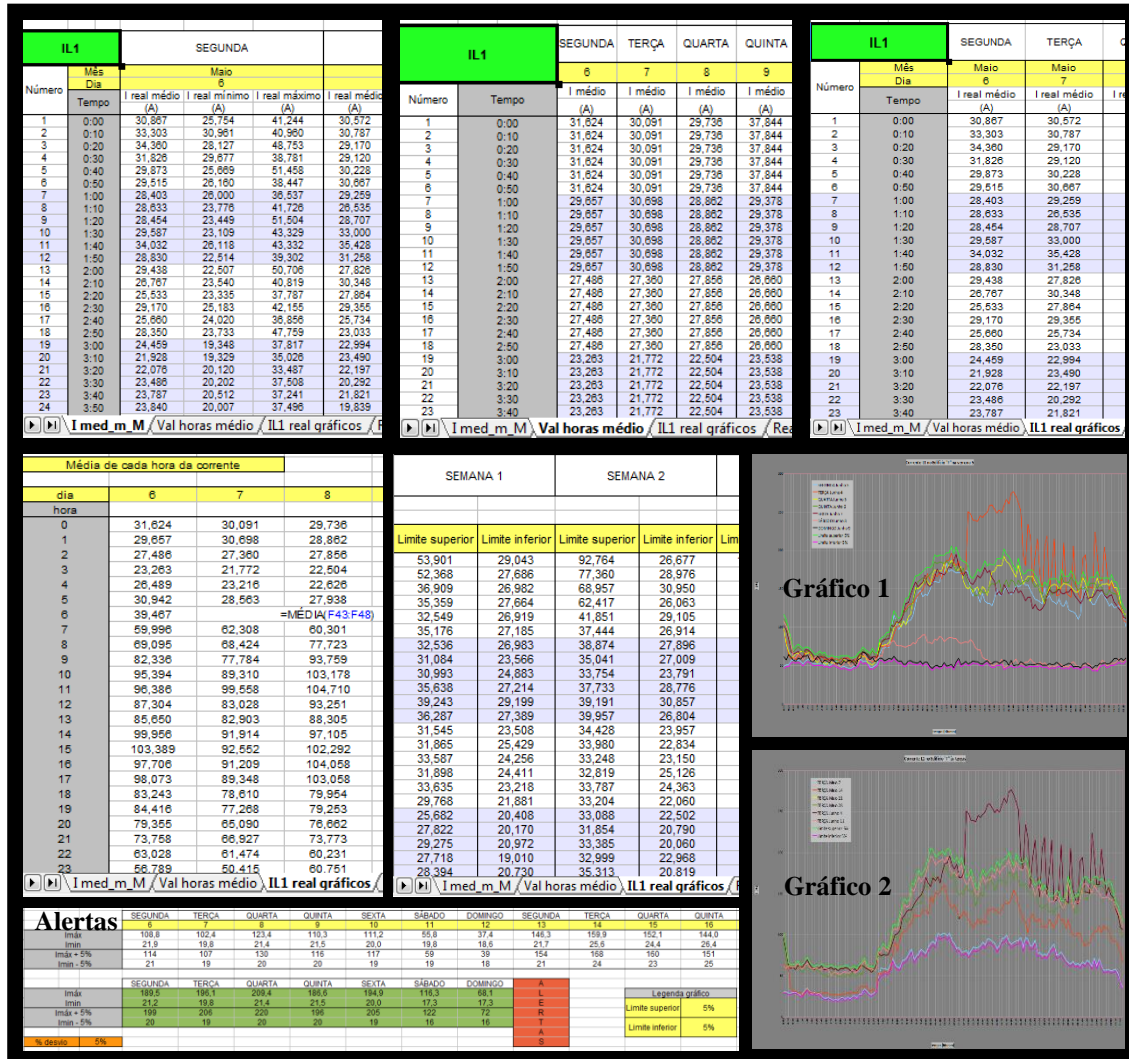


Figura 20 – Tabelas de registo dos parâmetros da corrente.

Os gráficos dos consumos de energia apresentados na seção 5.4 (Figura 42 a Figura 45) apresentam informação relativa às terças-feiras registadas. Como anteriormente referido, foi dada mais importância a este dia da semana, devido ao registo de um pico de corrente, registado por volta das 12:40h, no dia 4 de Junho. Este pico deveu-se aos ensaios realizados com motores nesse dia, no laboratório de máquinas do edifício F (o que levou a um aumento da quantidade de energia requisitada).

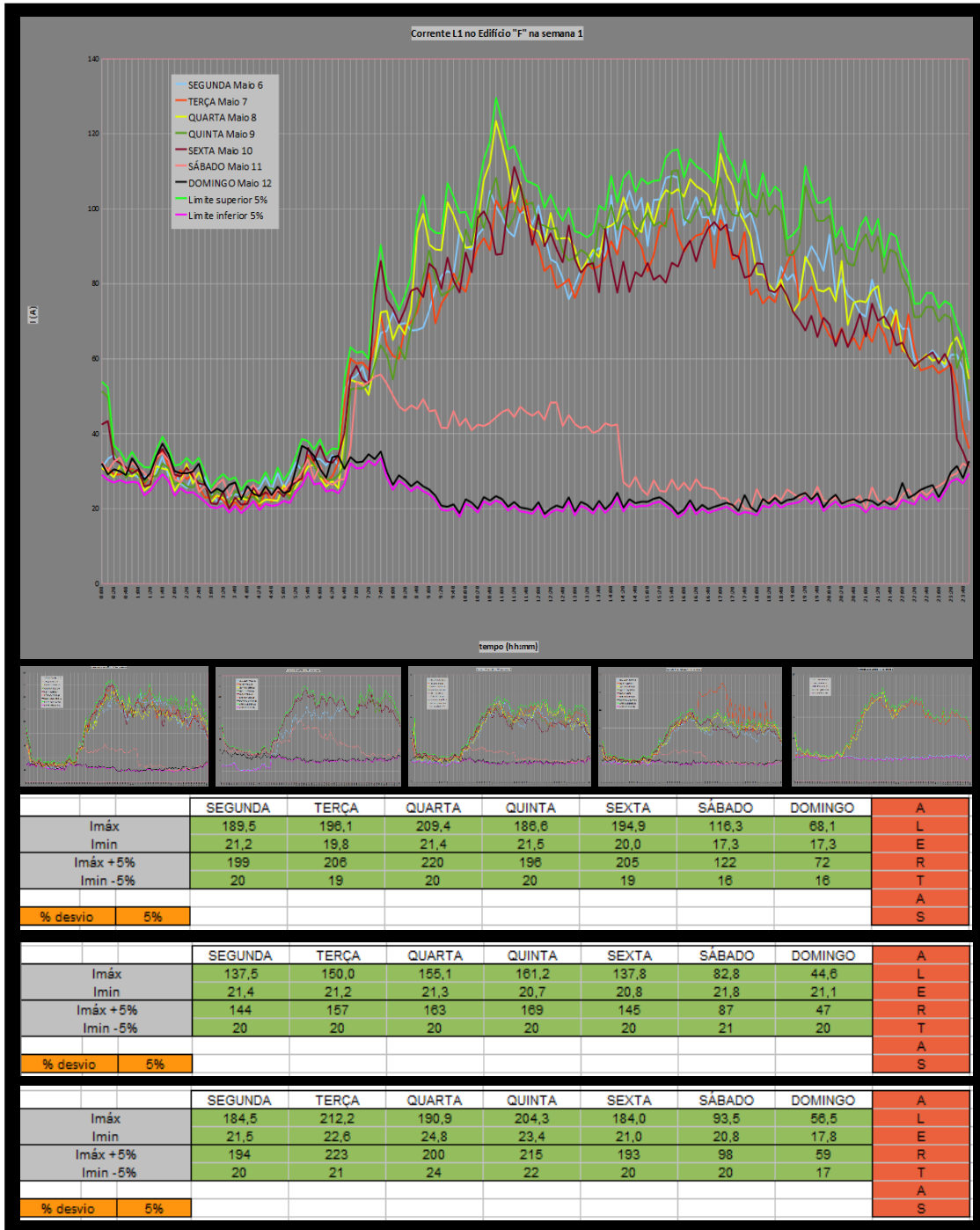


Figura 21 – Gráficos e tabelas de alertas

4.4.4. CRITÉRIOS DE CONFIGURAÇÃO DOS VALORES DOS ALERTAS

Após a criação das tabelas e respetivos gráficos, foram criadas outras tabelas para auxiliar o desenvolvimento da programação dos alertas, que apresentam: (i) Os valores máximos e mínimos dos parâmetros da Tabela 10, nos dias da semana; (ii) O limite admissível de oscilação das grandezas em percentagem, alterável, no sentido de possibilitar a definição da gama de valores dos alertas (denominado por ‘% desvio’).

Ao mesmo tempo, foi estabelecido um valor de desvio para as grandezas corrente, potência ativa e energia consumida de 5%. Por outro lado, para a tensão, foi tributado o valor 1% pelo simples facto de ser uma grandeza que não oscila tanto quanto as outras. Todos estes valores foram ponderados mediante a análise dos gráficos criados, considerando-se valores admissíveis para alertar eventuais problemas na instalação elétrica ou no fornecimento de energia (QEE).

Da análise dos gráficos nos *Anexos*, é possível verificar as desigualdades existentes. Na Tabela 11, estão apresentados os valores a inserir na programação dos alertas, obtidos a partir do valor máximo e mínimo, por meio de funções máximo() e mínimo() de todos os valores registados, neste caso, em particular, da corrente. O mesmo procedimento foi feito para tensão e corrente em cada uma das linhas do sistema trifásico, bem como para a potência ativa e energia, que serão mencionados na seção 5.4.

Tabela 11 – Tabela de cálculo dos valores da programação da corrente.

	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO	DOMINGO	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
Imáx	108,8	102,4	123,4	110,3	111,2	55,8	37,4	146,3	159,9	152,1	144,0	159,9
Imín	21,9	19,8	21,4	21,5	20,0	19,8	18,6	21,7	25,6	24,4	26,4	24,2
Imáx +5%	114	107	130	116	117	59	39	154	168	160	151	168
Imín -5%	21	19	20	20	19	19	18	21	24	23	25	23
	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO	DOMINGO	A				
Imáx	199,5	196,1	209,4	= MAXIMO(H155;O155;R155;TAC155;A155)		68,1		L		Legenda gráfico		
Imín	21,7	19,8	21,4	21,5	20,0	17,3		E		Limite superior 5%		
Imáx +5%	199	206	220	196	205	122		R		Limite inferior 5%		
Imín -5%	20	19	20	20	19	16		T				
								A				
								S				
% desvio	5%											

Valores a inserir na programação

4.4.5. PROGRAMAÇÃO E ENVIO DE ALERTAS POR EMAIL

Como mencionado anteriormente, a programação de alertas que permite o envio de *emails* foi desenvolvida com a ferramenta *GridVis*, utilizando a linguagem diagrama de blocos. Para uma visão mais esclarecedora, foram concebidos fluxogramas representativos dos vários passos da aplicação, funcionando como uma espécie de instruções da aplicação, seguido das imagens da programação desenvolvida.

A Figura 22 pretende representar o funcionamento dos dispositivos UMG 511 e 604, através de um fluxograma, no qual a variável ‘*SysVar*’, denominada por ‘*SystemVar*’, do tipo *float*, representa o parâmetro medido em tempo real pelo dispositivo (exemplo: tensão). Foi criada uma rotina de *input*, em linguagem C++, para definir os diferentes valores-limite, máximos e mínimos, para os diferentes dias da semana (segunda-feira, terça-feira, etc.) – valores-limite esses, registados pelo dispositivo UMG 511 a serem divulgados na seção 5.4. Através dos valores lidos por ‘*SystemVar*’ e das variáveis pertencentes à rotina de *input* (‘*max*’ e ‘*min*’), foi implementada uma condição, para determinar se o valor em ‘*SystemVar*’ está dentro do intervalo de valores definido por ‘*min*’ e ‘*max*’. Se a condição for negativa, lê novamente ‘*SystemVar*’ e repete a verificação do intervalo; caso contrário, verifica se a variável ‘*SystemVar*’ é menor que ‘*min*’ ou maior que ‘*max*’, e, mediante esta situação, envia por *email* uma mensagem de alerta com um *delay* de 0,5 segundos: (i) Com a ‘descrição 1’, se ‘*SystemVar*’ for inferior a ‘*min*’; (ii) Com a ‘descrição 2’, se ‘*SystemVar*’ for superior a ‘*max*’. Ou seja, se o parâmetro detetado se encontrar acima ou abaixo dos valores-limite, das variáveis ‘*min*’ e ‘*max*’ é enviado um *email* com a descrição respetiva (1 ou 2). O objetivo é alertar, por *email*, eventuais desvios dos valores das grandezas físicas elétricas medidas pelos dispositivos analisadores de energia. As descrições 1 e 2 contêm conteúdo personalizado na sua mensagem como ilustrado na Figura 26. O atraso aplicado de 0,5 segundos é necessário, dada a constante medição de valores pelo equipamento e que, sem esta instrução, aparece o valor errado do parâmetro de consumo de energia no *email* da ocorrência.

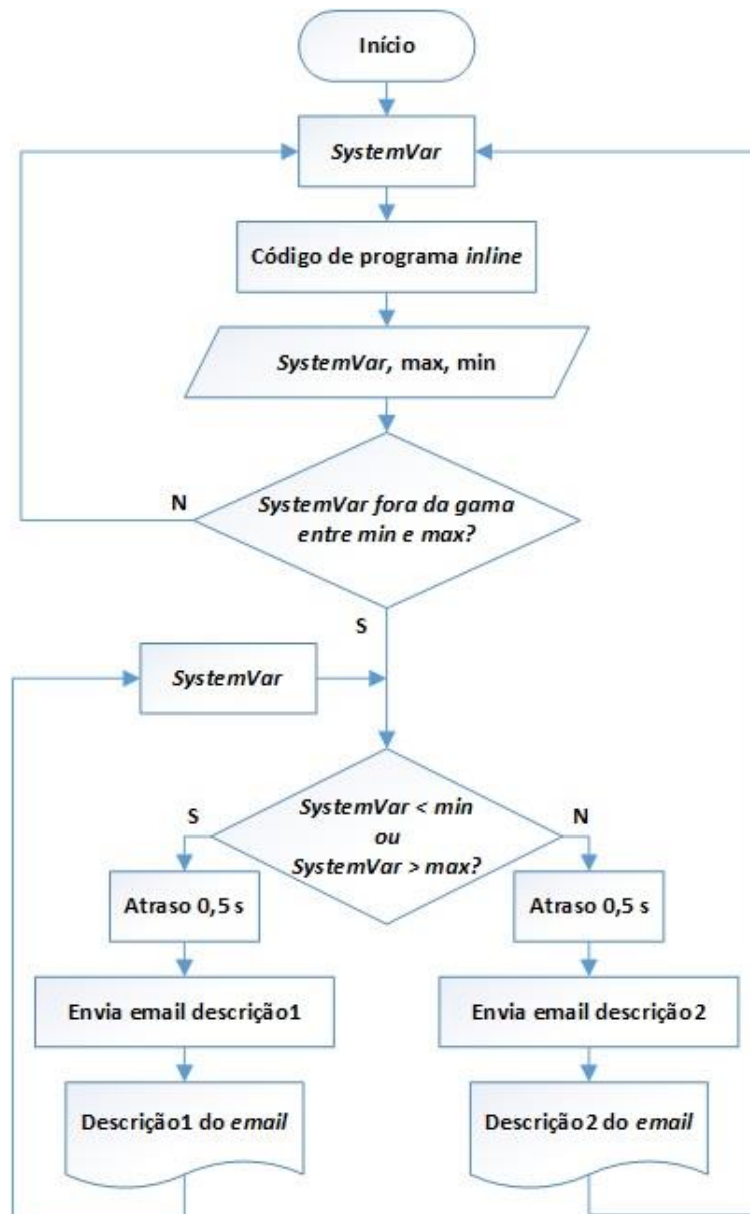


Figura 22 – Fluxograma da programação dos dispositivos UMG 511 e UMG 604.

Apesar do dispositivo UMG 96S não estar apto para realizar a funcionalidade de enviar *emails* de maneira autónoma, é possível receber os parâmetros de consumo de energia através de um dispositivo mestre (escolhido o dispositivo UMG 604). Na aplicação criada para o dispositivo UMG 96S, foi implementada uma rotina com o nome ‘Ler_modbus’, que permite medir os parâmetros de consumo de energia solicitados ao escravo, sendo a estrutura restante estrutura idêntica ao dos dispositivos mestre (Figura 23).

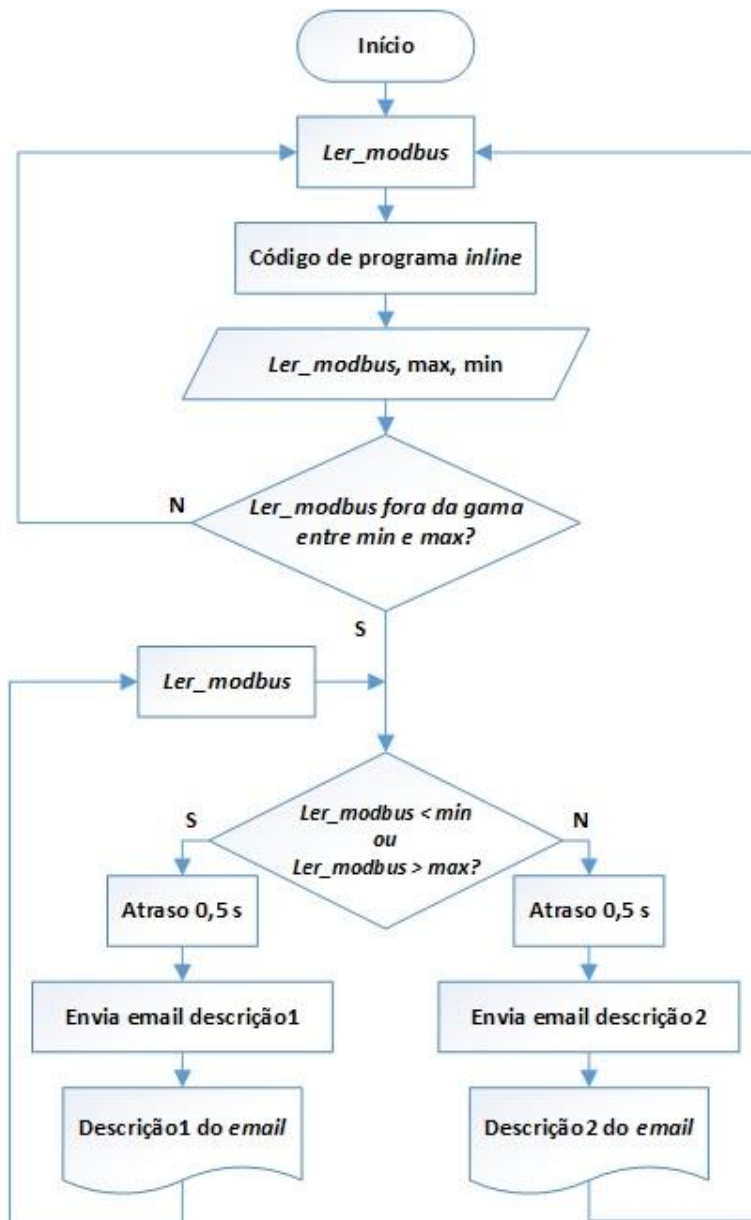


Figura 23 – Fluxograma da programação do dispositivo UMG 96S.

Mostrou-se possível, na rotina ‘Código do programa *inline*’, saber-se o dia da semana em questão - (através da variável *_weekday*) - e atribuir diferentes valores às variáveis ‘*max*’ e ‘*min*’. Na Figura 24 estão apresentadas algumas variáveis utilizadas no sistema utilizadas e as atribuições feitas para se saber o dia da semana com que se depara. Esta etapa justifica-se quando se observam vários dias da semana, pelo facto dos consumos de energia serem diferentes em cada um dos dias, como se conclui através dos gráficos apresentados na seção 5.4.

Variáveis do sistema	Atribuição da variável <i>_weekday</i>
<i>_day</i>	0 = Domingo
<i>_month</i>	1 = Segunda
<i>_year</i>	2 = Terça
<i>_weekday</i>	3 = Quarta
<i>max</i>	4 = Quinta
<i>min</i>	5 = Sexta
-	6 = Sábado

Figura 24 – Algumas variáveis do sistema e atribuições [31].

De forma a testar a funcionalidade de envio por *email*, fizeram-se as configurações necessárias para possibilitar tal operação. Assim, foi possível, na rotina ‘Código do programa *inline*’ saber o dia da semana, estabelecendo-se assim, um valor máximo e mínimo (*max*, *min*) que limitariam o parâmetro de *input* (‘*SystemVar*’), como apresentado na Figura 25.

Nome do programa: tensao1final604

Comentário: Saber dia da semana

Variáveis de entrada:

Nome do valor	Tipo de valor
---------------	---------------

Variáveis de saída:

Nome do valor	Tipo de valor
1 max	Valor numérico
2 min	Valor numérico

Código de inicialização (Declaração e inicialização de gravações, arrays, ...)

Código programa

```

if _weekday = 0 then
max = 1000
min = 100
else
if _weekday = 1 then
max = 1111
min = 111

```

Botão Adicionar valor de medida

Figura 25 – Amostra da rotina ‘Código de programa *inline*’.

Na configuração da descrição dos *emails*, foram preenchidos os campos da Figura 26. O endereço 193.136.63.3 foi digitado no campo ‘Servidor’, pertencendo este ao ISEP. Não existe autenticação alguma, ficando o campo ‘Modo de autenticação’ vazio (‘Nenhum’).

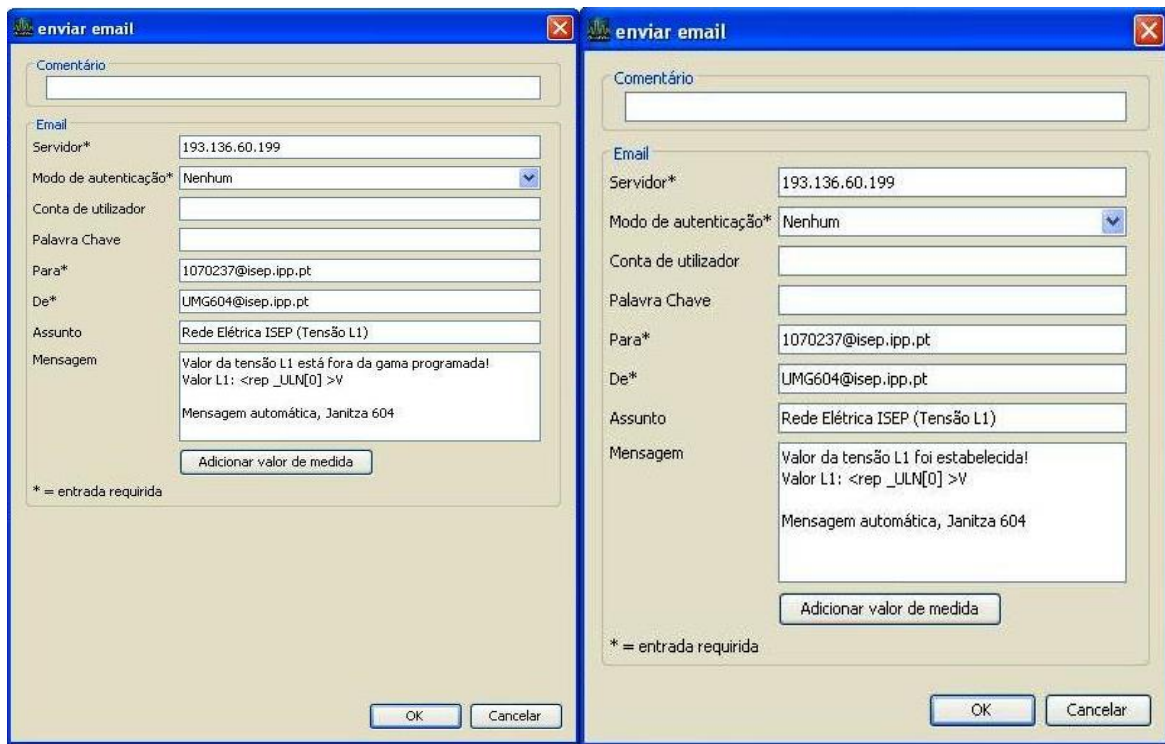


Figura 26 – Configuração da rotina ‘Enviar *email*’.

Caso os analisadores de energia detetem valores-limite fora da gama, a programação interage de forma a notificar o sucedido. Nas figuras seguintes, estão apresentados os resultados da programação. A disposição dos diagramas de blocos para as diversas grandezas é semelhante, embora a configuração nas rotinas seja diferente. Na Figura 27 está descrita a programação que permite que os dispositivos UMG 511 e UMG 604 enviem alertas por *email* sobre a corrente nas linhas 1,2 e 3, segundo valores medidos pelos mesmos.

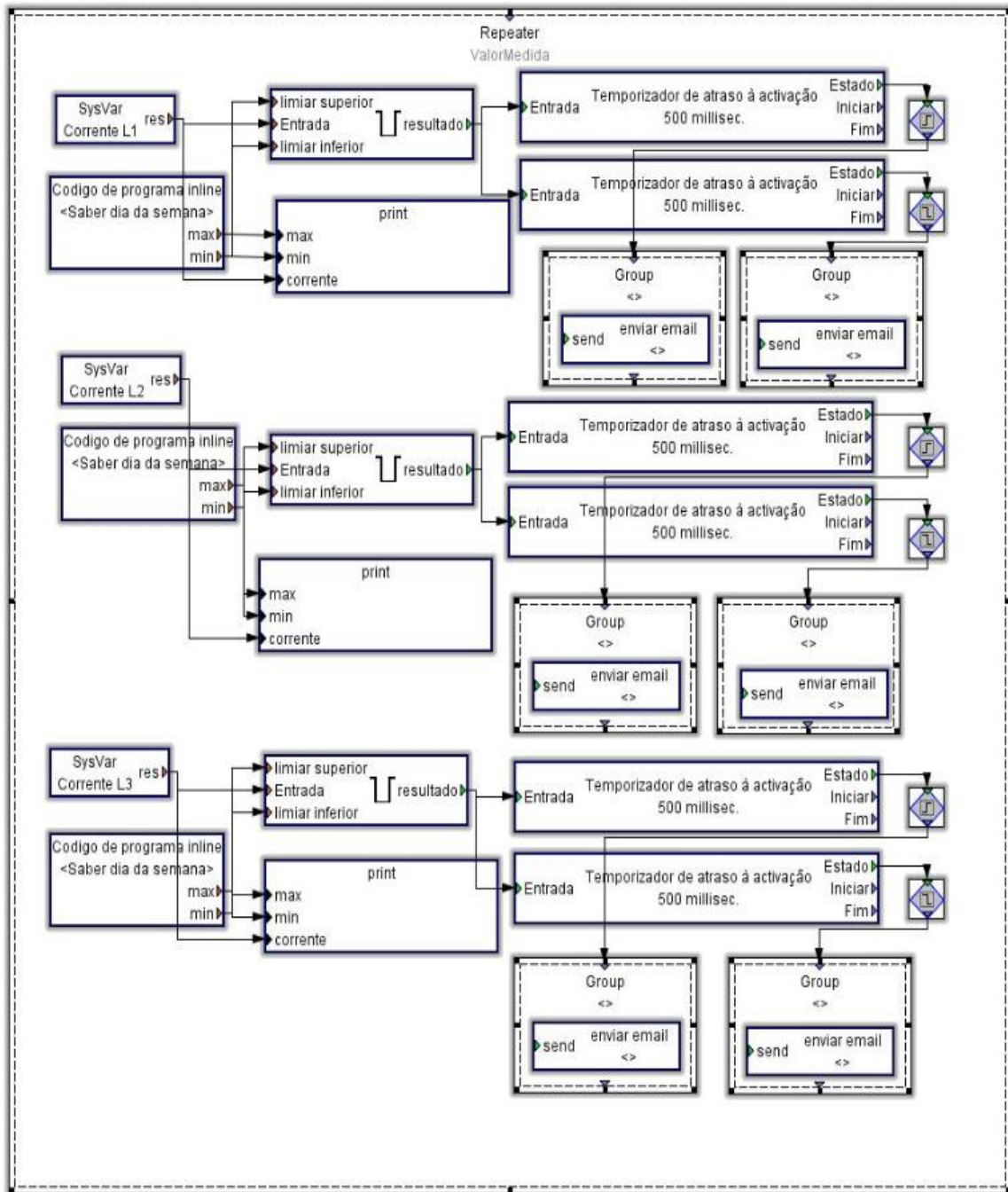


Figura 27 – Programação dos alertas da corrente (UMG 511 e 604).

A programação que permite ao dispositivo UMG 604 enviar a informação da corrente nas linhas 1,2 e 3 por *email*, através dos valores medidos pelo dispositivo UMG 96S está presente na Figura 28. A programação é modificada no conteúdo da rotina ‘Código do programa *inline*’ e no diagrama de bloco ‘*SysVar*’ (*SystemVar*) para ‘*Ler_modbus*’, sendo as configurações internas desta última diferentes. A programação interna da rotina mencionada encontra-se nos *Anexos*.

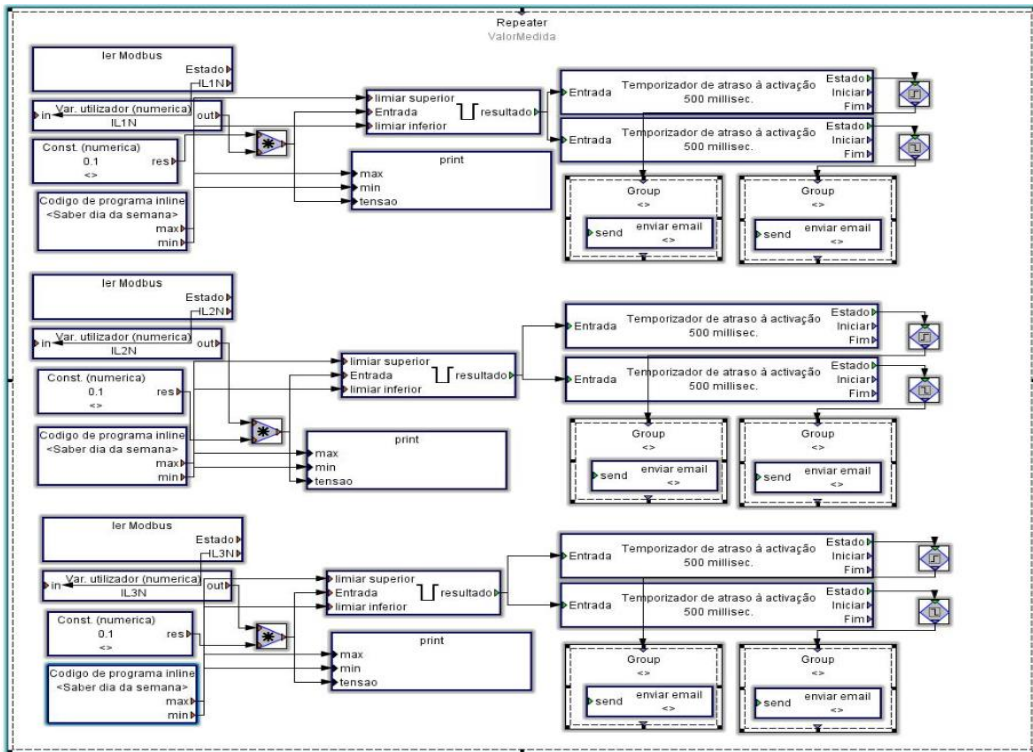


Figura 28 – Programação dos alertas da corrente (UMG 96S).

Na Figura 29 está apresentada a programação para permitir aos dispositivos UMG 511 e UMG 604 enviarem informação por *email* sobre a tensão nas linhas 1,2 e 3.

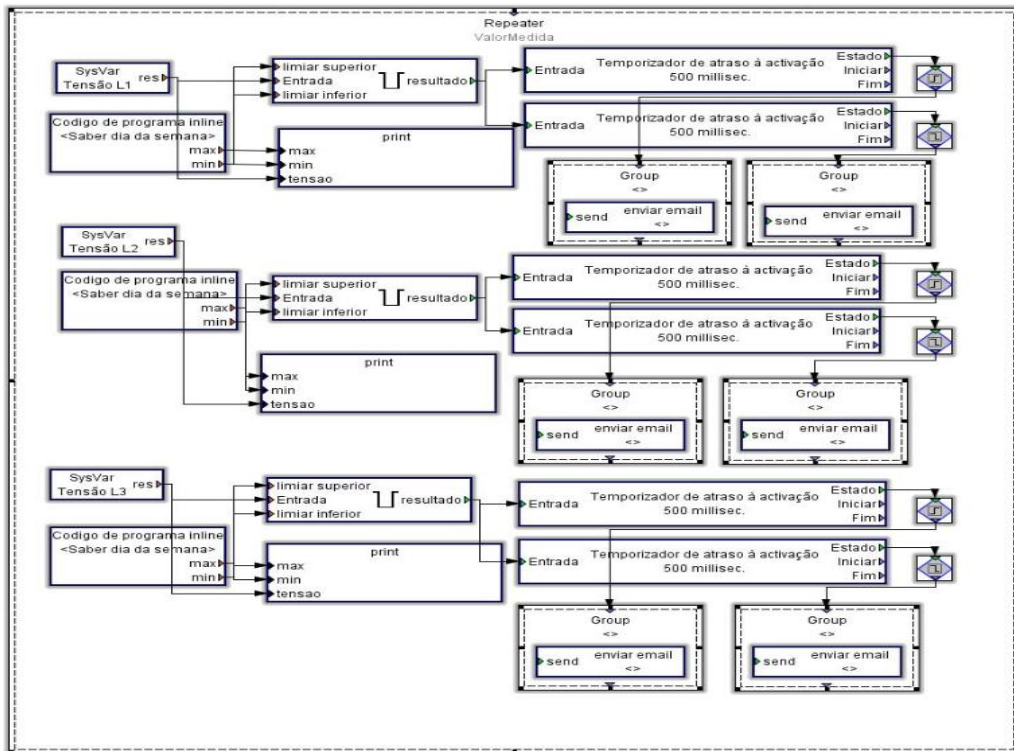


Figura 29 – Programação dos alertas da tensão (UMG 511 e 604).

Seguidamente, na Figura 30 está apresentada a programação que permite que o dispositivo UMG 604 envie a informação da tensão nas linhas 1,2 e 3 por *email*, através dos valores medidos pelo dispositivo UMG 96S.

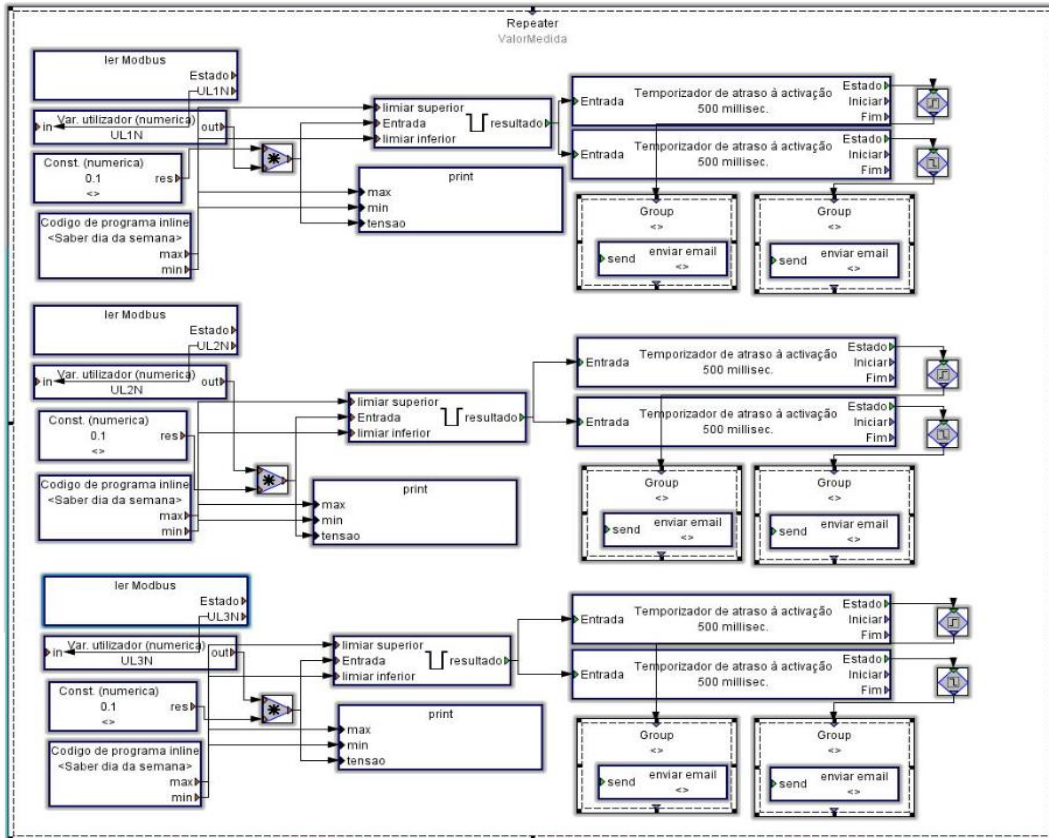


Figura 30 – Programação dos alertas da tensão (UMG 96S por intermédio do UMG 604).

A programação que permite aos dispositivos UMG 511 e UMG 604 enviarem informação por *email* sobre a potência ativa do somatório das linhas já mencionadas pode ser encontrada na Figura 31.

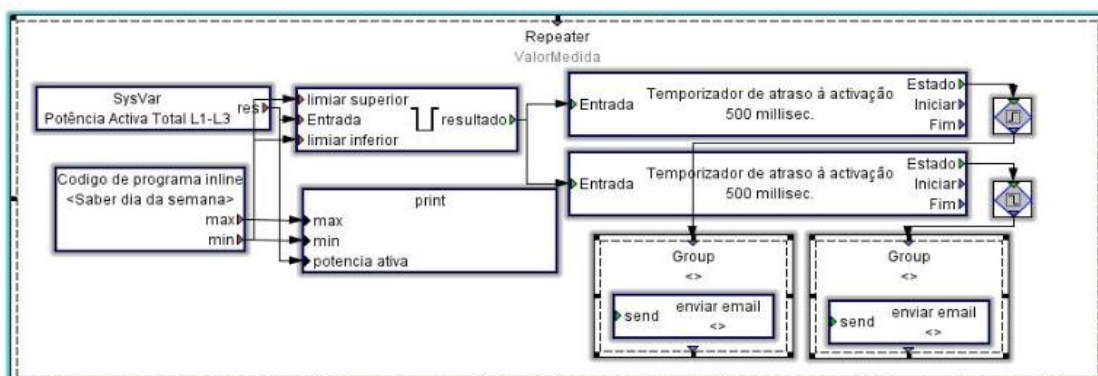


Figura 31 – Programação dos alertas da potência ativa (UMG 511 e UMG 604).

4.5. INTERFACE GRÁFICA (HMI)

A Interface Homem-Máquina reúne a informação sobre a rede a monitorizar de forma gráfica e organizada. Nesta etapa foi usada a linguagem C++, estando a programação desenvolvida apresentada nos *Anexos*. O fluxograma da Figura 32 sequencia o seu funcionamento.

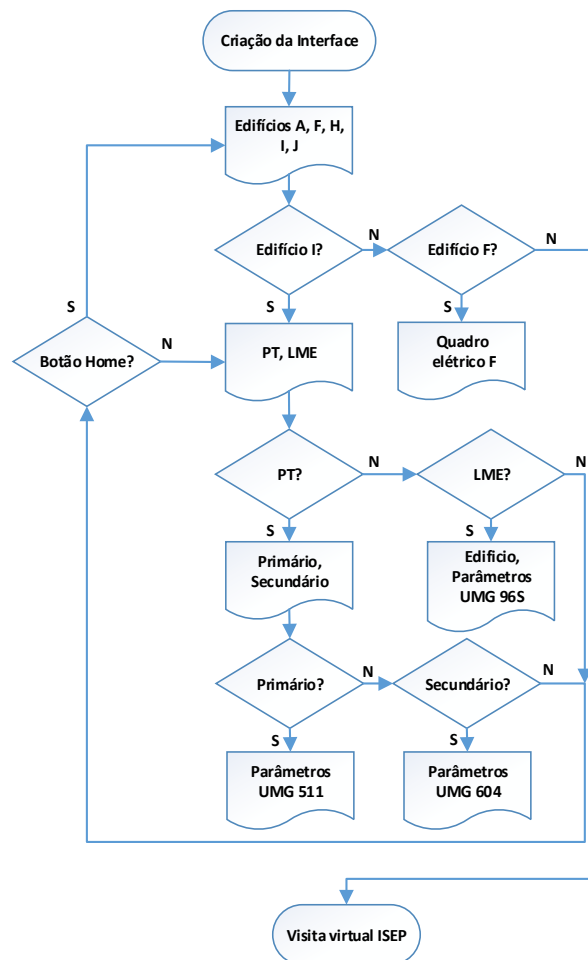


Figura 32 – Fluxograma representativo da HMI.

Na criação da HMI, foram representados os diversos edifícios para onde se pretende expandir este projeto. Apenas o edifício I e F foram alvo do desenvolvimento da HMI para visualizar os parâmetros de consumo de energia, tendo sido selecionados, tanto para a instalação dos dispositivos como para efetuar os registos dos parâmetros de consumo de energia. O resultado está apresentado na Figura 33.

Selecionando o ‘Edifício I’, a interface exhibe as opções de impressão dos parâmetros de consumo da energia: (i) No PT, quer do primário (UMG 511) quer do secundário (UMG 604); e (ii) No LME, do quadro elétrico do laboratório (UMG 96S).

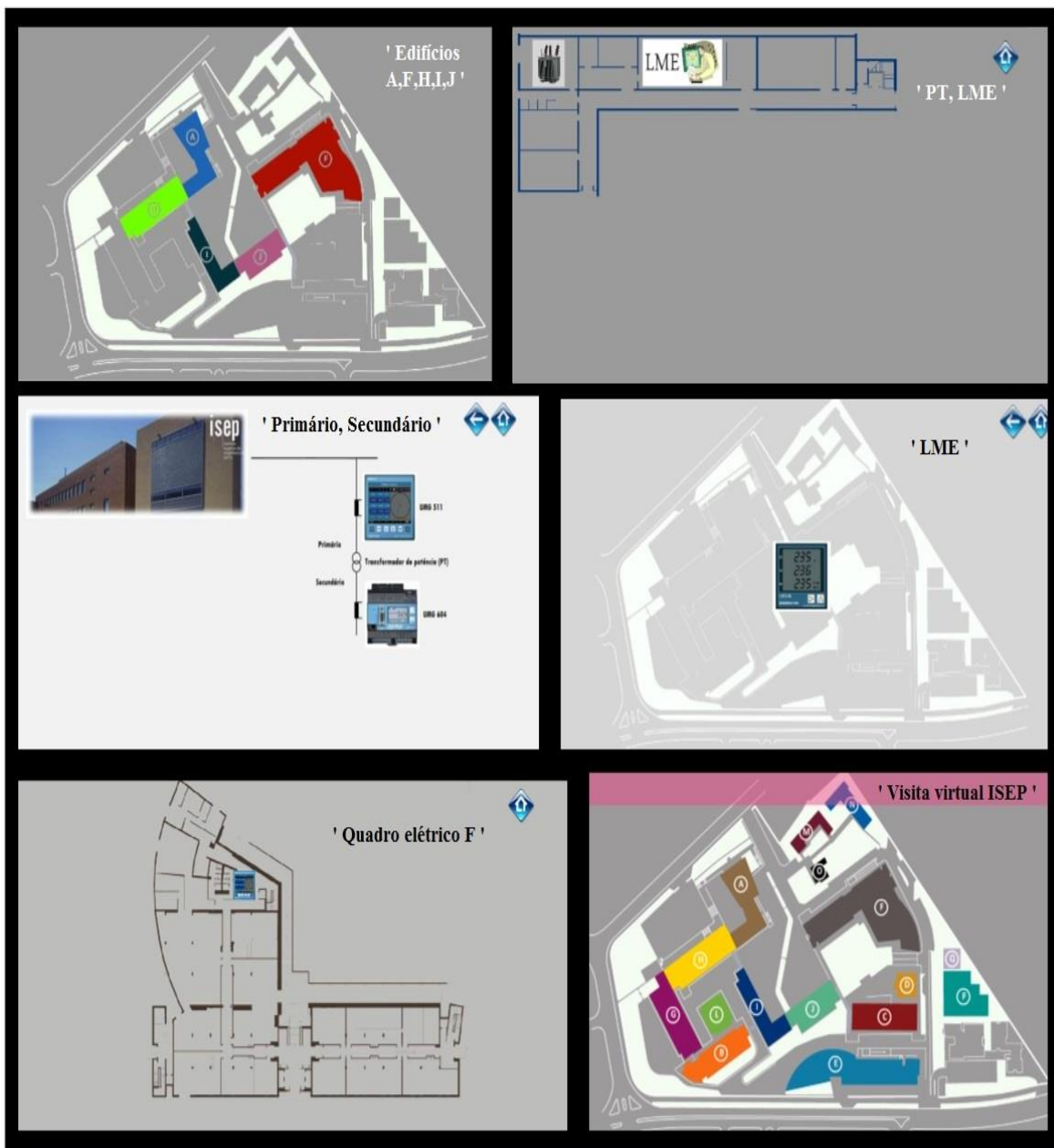


Figura 33 – Tradução do fluxograma da HMI.

No fluxograma representativo da HMI, a visualização dos ‘Parâmetros UMG’ é referente a alguns parâmetros de consumo de energia, estando estes previamente delineados segundo critérios definidos pela *Janitza* e podendo ser visualizados através de uma interface já criada (Figura 35), ainda que após a instalação de uma aplicação nos dispositivos mestre (*MultiTouch.egg*) e respetiva configuração (Figura 34).

Main Configuration - Display

Description	Value
Device type	UMG <input type="button" value="v"/> Tipo de dispositivo mestre (511, 604)
Function (Configuração padrão)	Stationsauswahl (Master und Slave Geräte) <input type="button" value="v"/>
number slave devices	'0' se for o 511 Número de dispositivos escravo '1' se for o 604
Name Master / (Nome do mestre/ Descrição)	'Primario' se for o 511 e UMG 511 'Secundario' se for o 604 UMG 604
Name Slave 1 / (Nome do escravo 1/ Descrição)	'Edificio' se o 604 for o mestre UMG 96S
Name Slave 2 / (Nome do escravo 2/ Descrição)	Slave 2 UMG SLAVE2
(...)	
Name Slave 31 / (Nome do escravo 31/ Descrição)	Slave 31 UMG SLAVE31 Permite 31 escravos
Text Schaltfläche	Pontos de medida Texto no menu de escolha dos dispositivos
Textfeld Anzahl Geräte...	Slave devices =
Textfeld Seriennummer...	serial number
<input type="button" value="Submit Configuration"/>	<input type="button" value="backup configuration"/> <input type="button" value="recover configuration"/>

Guardar configurações

Figura 34 – Configurações da interface dos parâmetros de consumo.

Mediante as configurações realizadas, a interface proveniente da *Janitza* aparece ilustrada na Figura 35, previamente configurada para os três dispositivos UMG.

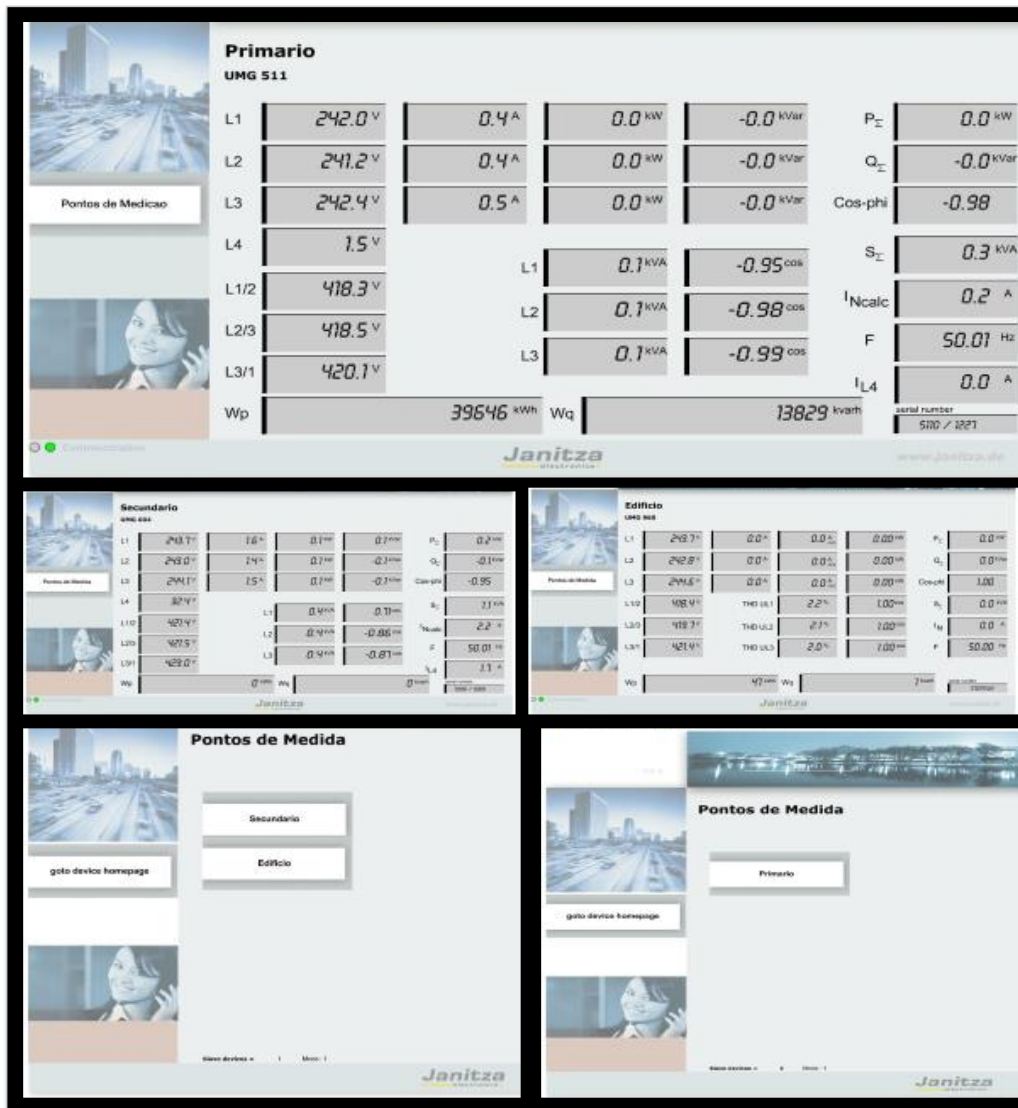


Figura 35 – Interface de visualização dos ‘Parâmetros UMG’.

A restrição ao acesso das configurações dos equipamentos foi assegurada por um processo de validação de credenciais, usando o método SSH. As configurações do processo de encriptação encontram-se ilustradas na Figura 36, em que o fluxograma descreve, de um modo geral, o funcionamento dos três equipamentos. O dispositivo UMG 604 tem uma funcionalidade que os outros dois não possuem, a restrição ao acesso do conteúdo dos parâmetros de consumo *online*, permitindo apenas o acesso com a introdução de uma palavra-passe. Assim, para se aceder às configurações dos três equipamentos é necessário introduzir corretamente a chave, sendo este método de segurança (SSH) bastante comum entre dispositivos e computadores. Na seção 5.3 estão apresentados os resultados deste procedimento.

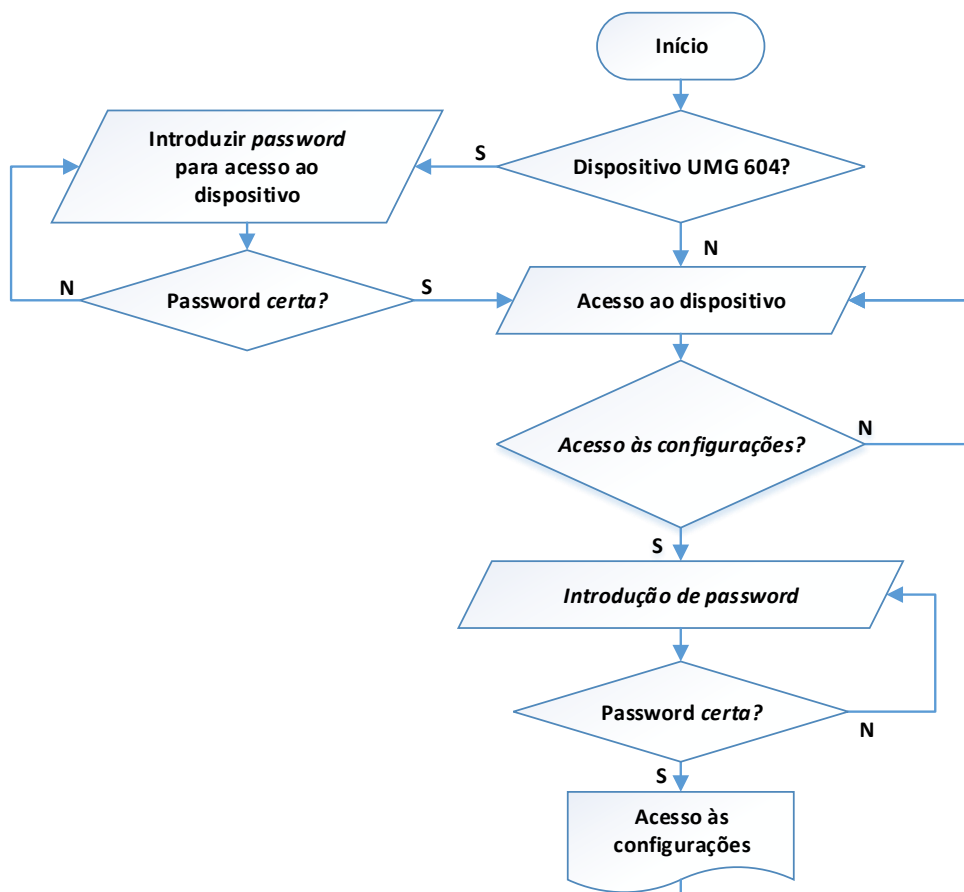


Figura 36 – Fluxograma referente à segurança dos dispositivos.

4.6. SÍNTESE

O capítulo 4 concentra-se na descrição da implementação do sistema, que consiste na rede de monitorização e no desenvolvimento da HMI. O esquema da projeção do local dos dispositivos analisadores e o tipo de comunicação a nível técnico são devidamente ilustrados neste capítulo. Com o auxílio de fluxogramas e imagens foi possível verificar os parâmetros de consumo de energia existentes em cada equipamento e a respetiva parametrização. De referir que foi ilustrado o tipo de tratamento de dados (gráficos, tabelas e critérios dos alertas) relativos aos registos do dispositivo UMG 511 realizados no edifício F. Foram ainda apresentadas imagens da programação desenvolvida para o envio de alertas por *email*. Por fim, foi ilustrada a interface desenvolvida em *Adobe Flash* e a interface que permite a visualização dos parâmetros de consumo de energia, sendo esta uma aplicação que pode ser instalada nos dispositivos, mediante as respetivas configurações.

5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

No capítulo anterior foi descrita pormenorizadamente a implementação do sistema de monitorização. A validação do mesmo, apresenta-se no presente capítulo objetivando a demonstração dos testes realizados e a análise dos resultados obtidos.

5.1. TESTES CARGA RLC

Depois da criação da rede de analisadores, foi realizado um teste aos dispositivos com cargas RLC (Figura 37), com o objetivo de comprovar o funcionamento da leitura da corrente nos dispositivos e adquirir sensibilidade técnica ao testar o comportamento da primeira consoante o tipo de cargas (resistiva, capacitiva, indutiva).



Figura 37 – Teste com cargas RLC no LME.

Para fazer o teste nas cargas RLC, utilizaram-se transformadores de corrente na medição. Tal como mencionado nas configurações dos dispositivos, a relação de transformação é de 1000/1A, daí que a sensibilidade para detetar o campo magnético seja baixa. Para contornar esta situação, é necessário enrolar cuidadosa e devidamente o condutor elétrico no equipamento – como mostra a Figura 38 – para que este consiga detetar o campo magnético, pois só desta forma é possível ler o valor da corrente. Este valor foi, então, obtido através da utilização de multímetros.

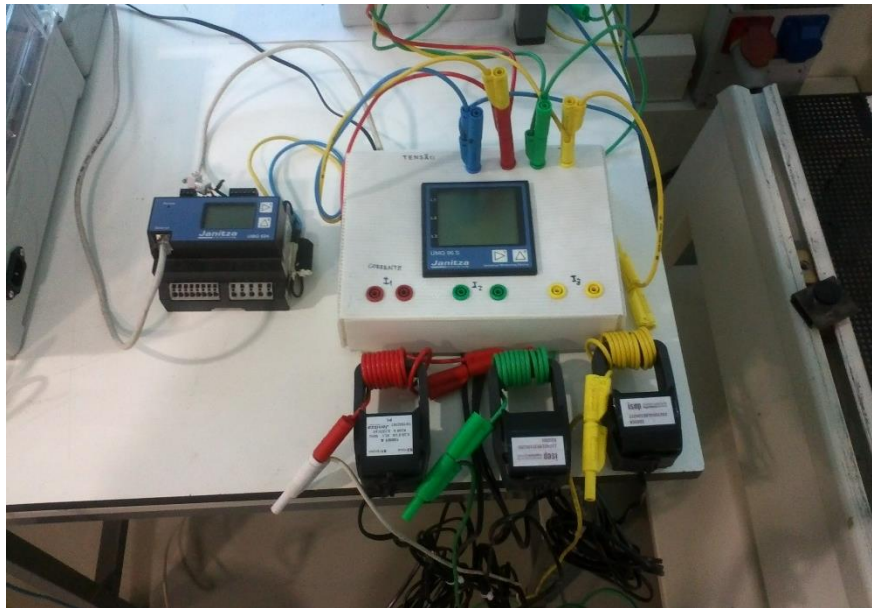


Figura 38 – Testes com transformadores de corrente.

5.2. TESTES INTERFACE GRÁFICA (HMI)

O resultado final da interface gráfica criada, em *Adobe Flash*, apresenta-se na Figura 39; da observação desta figura, consegue-se visualizar a página inicial com os cinco edifícios. Posteriormente, acedendo ao edifício I, aparecem opções acerca do PT e do LME. Ao clicar na opção ‘PT’, surgem duas opções de escolha: (i) visualizar parâmetros de consumo de energia no primário *online*; ou (ii) visualizar os parâmetros de consumo de energia no secundário *online*. Caso se prima a opção ‘LME’ opta-se por visualizar os parâmetros de consumo de energia *online* do laboratório.



Figura 39 – Interface gráfica final.

A apresentação destes parâmetros (Figura 40) provém da aplicação “Multitouch”, instalada nos dispositivos UMG 511 e UMG 604, onde os valores apresentados representam: (i) As tensões e correntes nas linhas 1,2,3 e 4²⁸; (ii) As tensões compostas L1/L2, L2/L3 e L3/L1; (iii) A potência ativa, reativa, aparente nas linhas 1,2 e 3 e respetivos somatórios; (iv) O fator de potência ($\cos\Phi$); (v) A energia reativa e ativa consumida; (vi) A THD e corrente média das linhas 1,2 e 3 (apenas o dispositivo UMG 96S); e (vii) A frequência da rede.

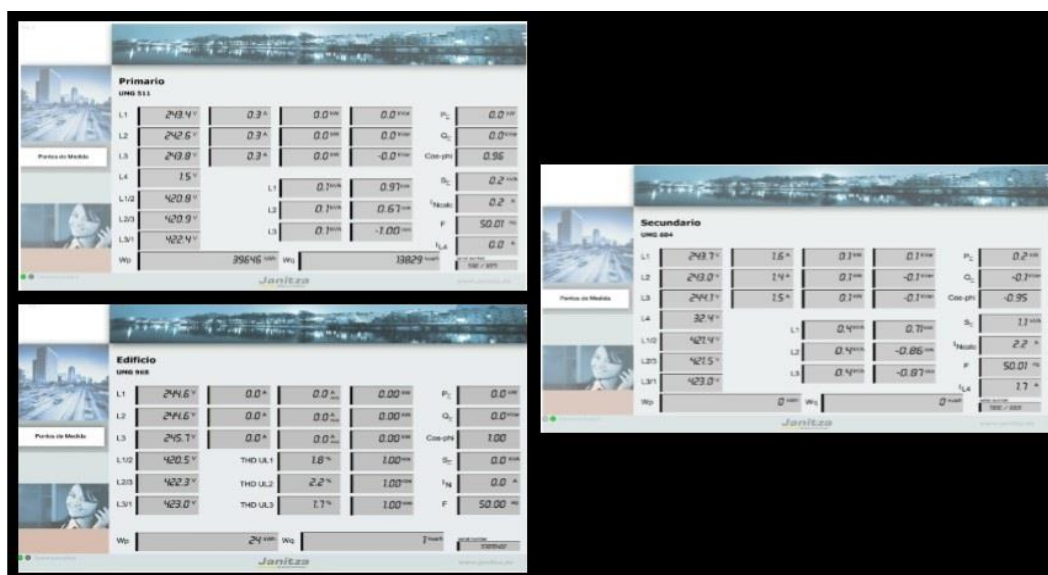


Figura 40 – Parâmetros online de consumo.

²⁸ Linha 4 é a fase neutra. O dispositivo UMG 96S não possui a visualização deste parâmetro online.

5.3. TESTES ENCRIPTAÇÃO

A necessidade de proteger as configurações realizadas aos dispositivos foi algo que esteve sempre presente na implementação deste projeto, no intuito de prevenir situações de desconfiguração involuntária por terceiros. Assim, é possível visualizar os parâmetros de consumo *online* com livre acesso (exceto parâmetros do dispositivo UMG 604), porém as configurações realizadas aos dispositivos encontram-se bloqueadas por palavra-passe, como se pode observar na Figura 41.



Figura 41 – Configuração dos dispositivos protegida por palavra-passe.

5.4. GRÁFICOS E TABELAS DE ALERTAS

Nesta seção estão apresentados os gráficos e tabelas que serviram para auxiliar o desenvolvimento da programação dos alertas.

5.4.1. CORRENTE

Na Figura 42 estão apresentados os gráficos da corrente das semanas de registro (gráficos da semana 1,2,3,4,5 e 6 respetivamente) no que concerne às linhas 1, 2 e 3, as respetivas tabelas

permitem auxiliar a programação de alertas a enviar por *email*. Graças a esta rede de monitorização é possível detetar este tipo de eventos, que retratam o funcionamento da instalação elétrica e, ao mesmo tempo, do fornecimento da energia.



Figura 42 – Gráficos de corrente e tabelas de alertas.

5.4.2. TENSÃO

Na Figura 43 estão expostos os gráficos de tensão das semanas de registo (gráficos da semana 1,2,3,4,5 e 6 respetivamente) das linhas 1, 2 e 3, onde observa-se uma menor oscilação desta grandeza física elétrica, relativamente às outras como seria espectável.

Apresentam-se, também, as tabelas que permitem auxiliar a programação de alertas por email.

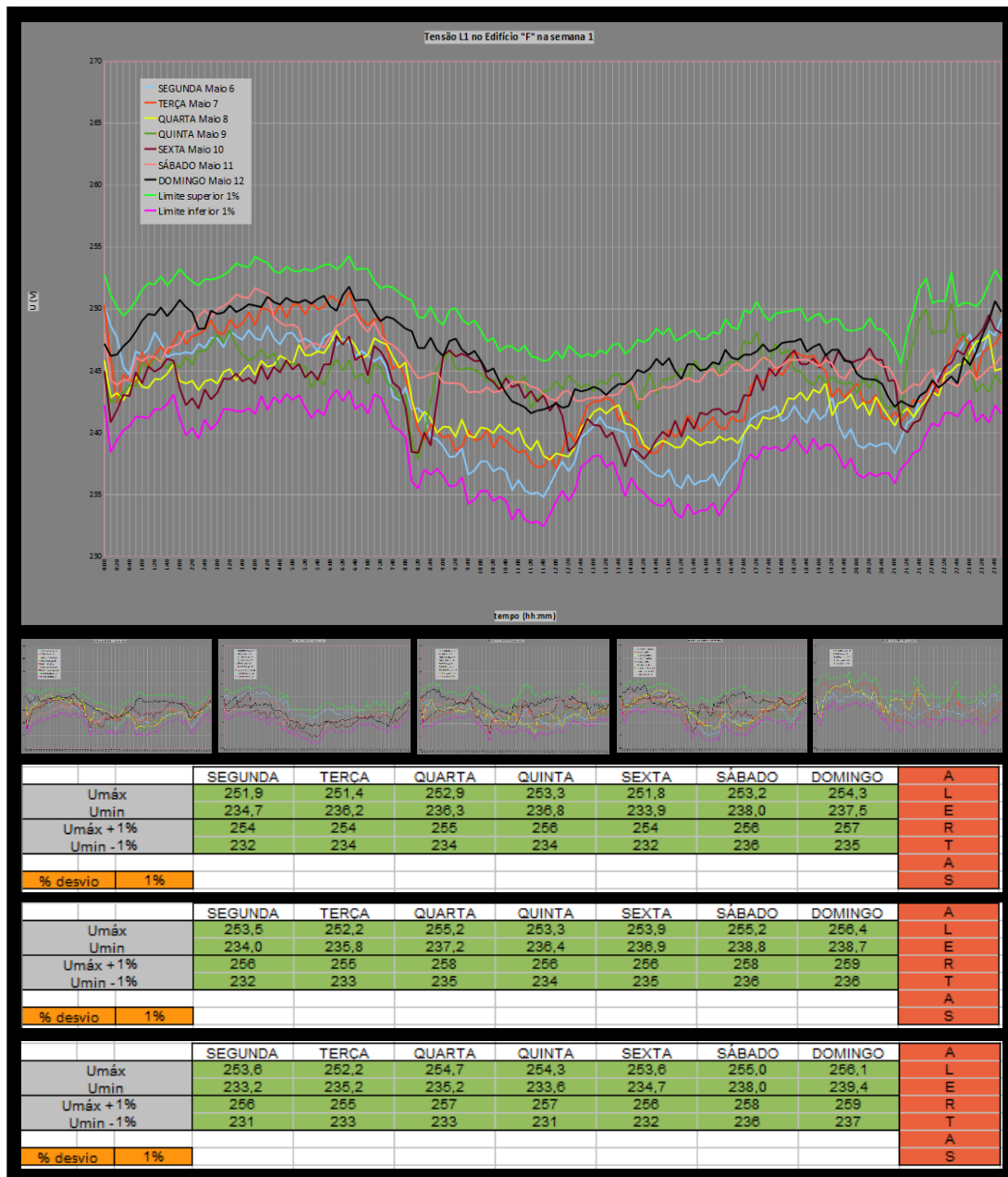


Figura 43 – Gráficos de tensões e tabelas de alertas.

5.4.3. POTÊNCIA ATIVA

Na Figura 44 está apresentado o gráfico da potência ativa das terças-feiras de registo (gráficos dos dias 4 de Junho, 7, 14, 21, 28 de Maio e 11 de Junho de 2013, respetivamente), relativamente ao somatório das três linhas. Observa-se facilmente o pico de corrente no dia 4 de Junho, devido à ocorrência de ensaios com motores, o que originou um consumo

elevado de energia no laboratório do edifício F. Assim, foi possível registar os valores e construir uma tabela, de forma a auxiliar na programação de alertas a enviar por *email*.

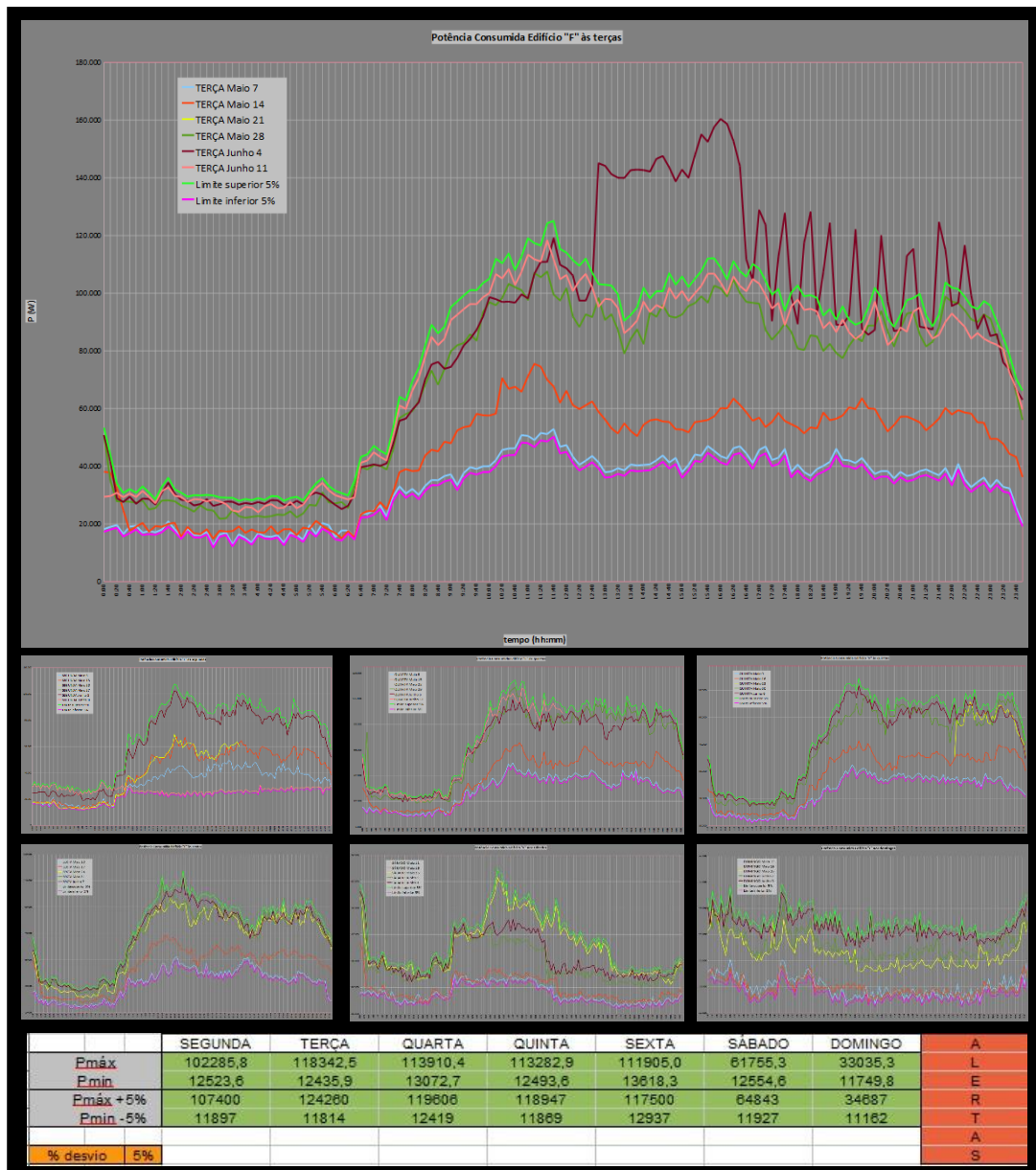


Figura 44 – Gráfico da potência ativa e tabela de alertas.

5.4.4. ENERGIA ATIVA CONSUMIDA

Na Figura 45 apresenta-se o gráfico da energia ativa consumida (gráficos dos dias 7, 14, 21, 28 de Maio, 4 e 11 de Junho de 2013, respetivamente), no que respeita ao somatório das três linhas. Este gráfico está apresentado sob a forma de barras verticais, de forma a facilitar a leitura dos consumos, registados de hora em hora. Por serem dados acumulados, não é elegível aproveitá-los para fazer a programação de alertas, embora seja exequível. Apesar

deste facto, é possível, através da visualizar destes dados, ter uma noção quantitativa da energia ativa que é consumida no edifício, durante determinado intervalo de tempo.

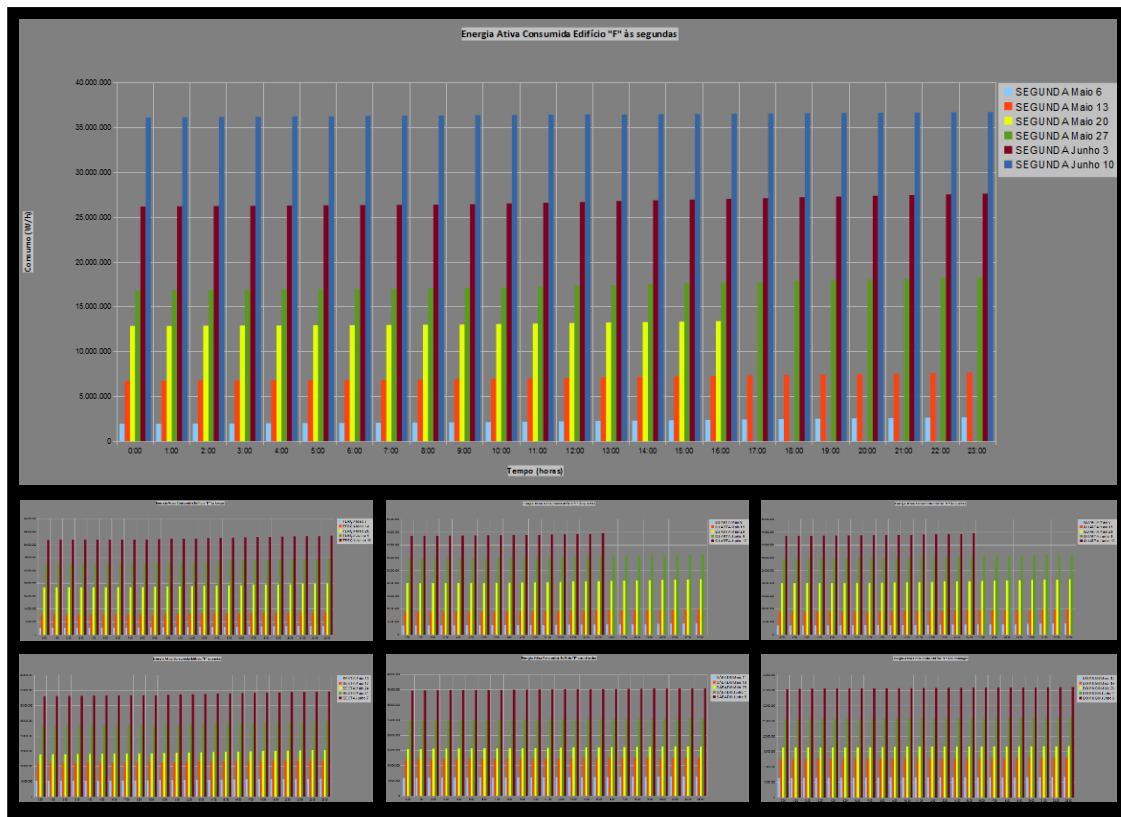


Figura 45 – Gráfico da energia ativa consumida e tabela de alertas.

5.4.5. TESTE DA FUNCIONALIDADE ENVIO DE ALERTAS POR EMAIL

No período de testes, os três equipamentos UMG foram submetidos a ensaios onde se induziu um corte e respetivo restabelecimento (por exemplo corte da tensão na fase 1).

A funcionalidade *debug* ganha aqui importância, pois permite interpretar o funcionamento dos programas executáveis. A Figura 46, ilustra os valores de ‘SystemVar’ e as informações sobre o envio dos *emails*. De notar que, nesta imagem, aparecem os valores ‘1110.00’ e ‘111.00’, valores utilizados apenas como teste, para demonstrar a funcionalidade dos limites pré-programados.

Na rotina ‘Código do programa *inline*’ (Figura 25), os valores impressos através da rotina ‘Print’, revelam que os ensaios foram realizados numa segunda-feira (*_weekend=1*) e que os valores-limite das variáveis *max*, *min* são ‘1111.00’ e ‘111.00’ respetivamente. Os valores

impressos '1555.00' e '155.00' (Figura 46) dizem respeito a testes realizados numa sexta-feira (*_weekend=5*).

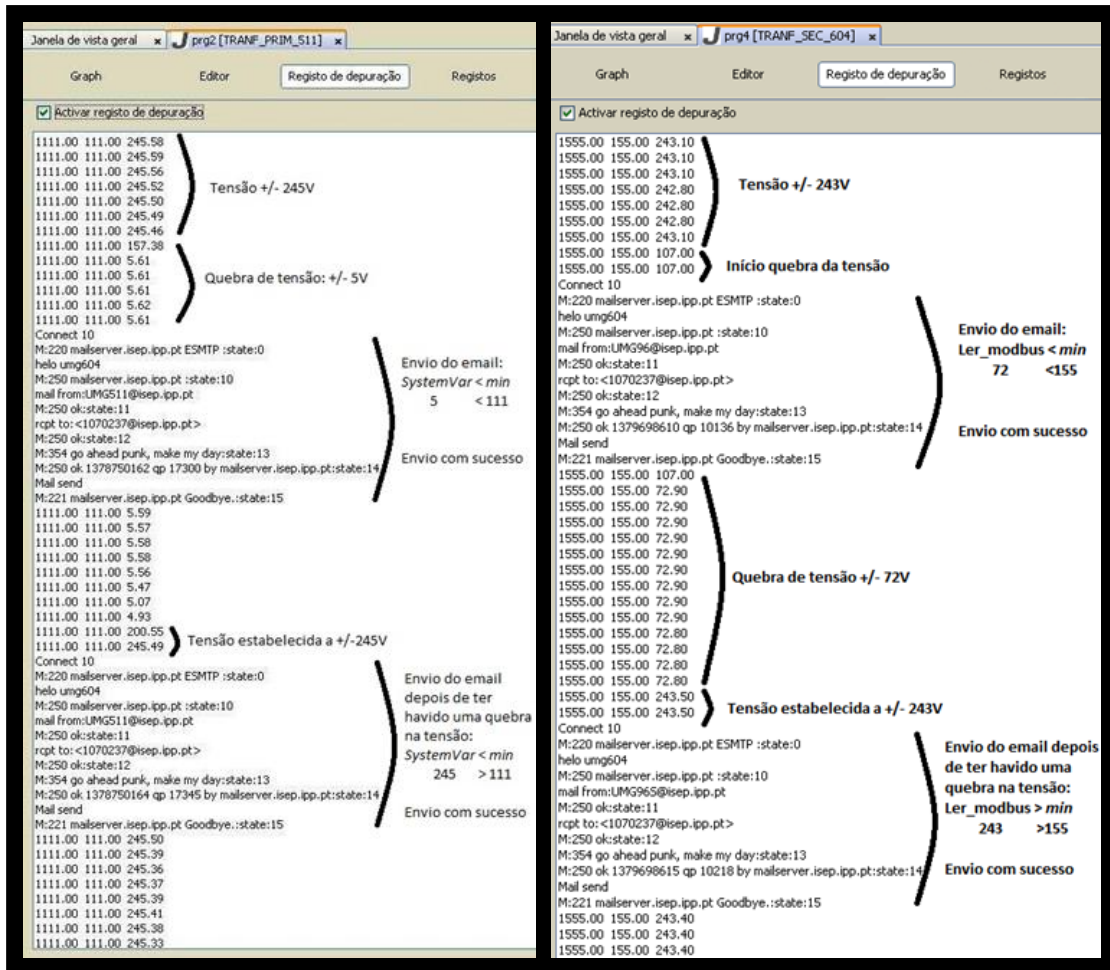


Figura 46 – Testes da programação efetuada na consola de *debug*.

Simultaneamente os equipamentos foram submetidos a testes, onde atribuíram, respetivamente, os valores ‘243.5’ e ‘230.0’ às variáveis *max* e *min*, de maneira a ficarem sujeitos quer a cenários de pico, quer a quebras de tensão (por exemplo, na fase 1), comprovando, deste modo, a eficácia da programação desenvolvida (Figura 47). Note-se que a programação final foi estendida às restantes linhas da rede elétrica (linhas 1,2 e 3).

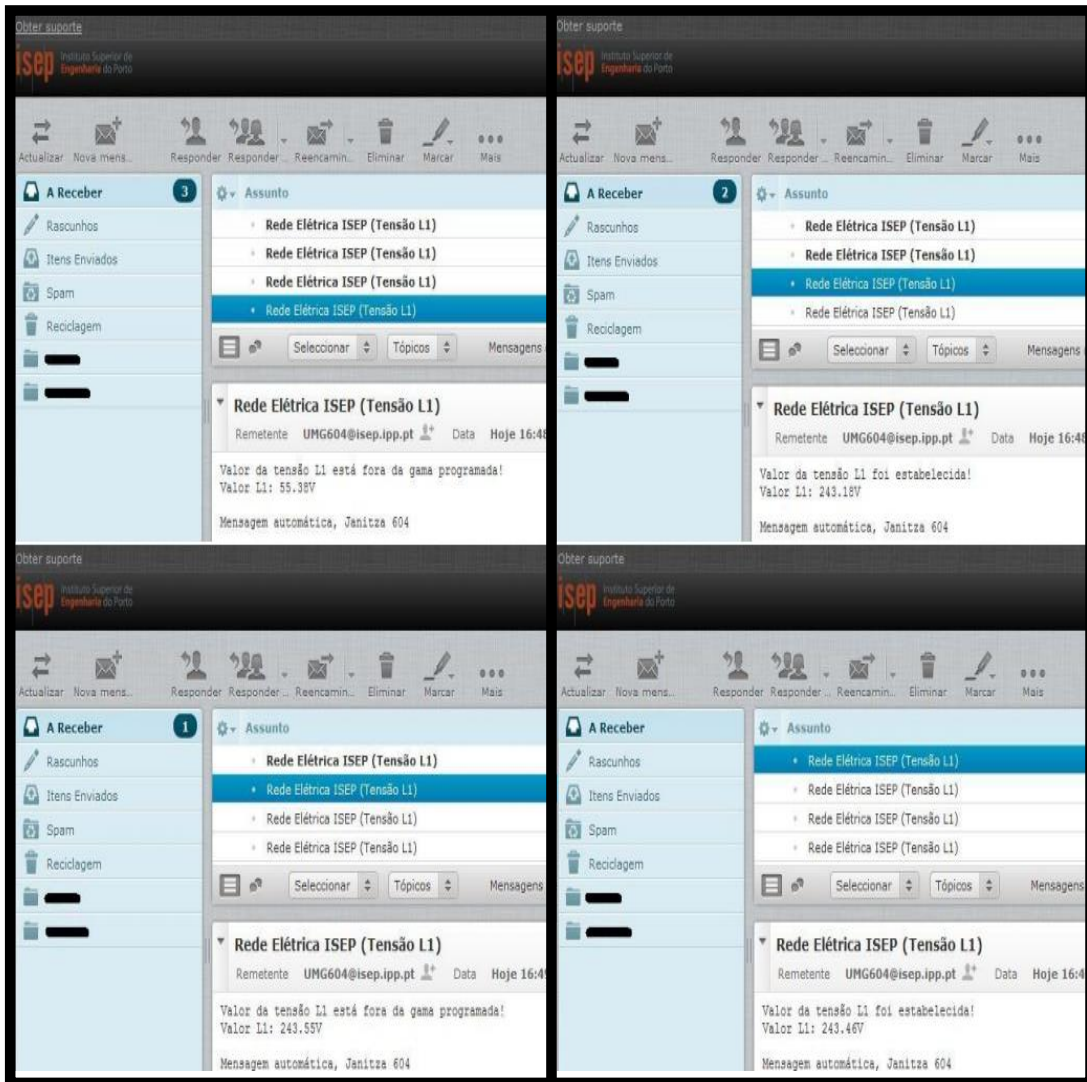


Figura 47 – Testes de quebras e picos de tensão.

A Figura 48 demonstra o sucesso da funcionalidade de envio de *emails* dos três dispositivos intervenientes nas três fases da rede elétrica, embora na imagem final esteja ilustrado apenas o envio de alertas na fase 1.

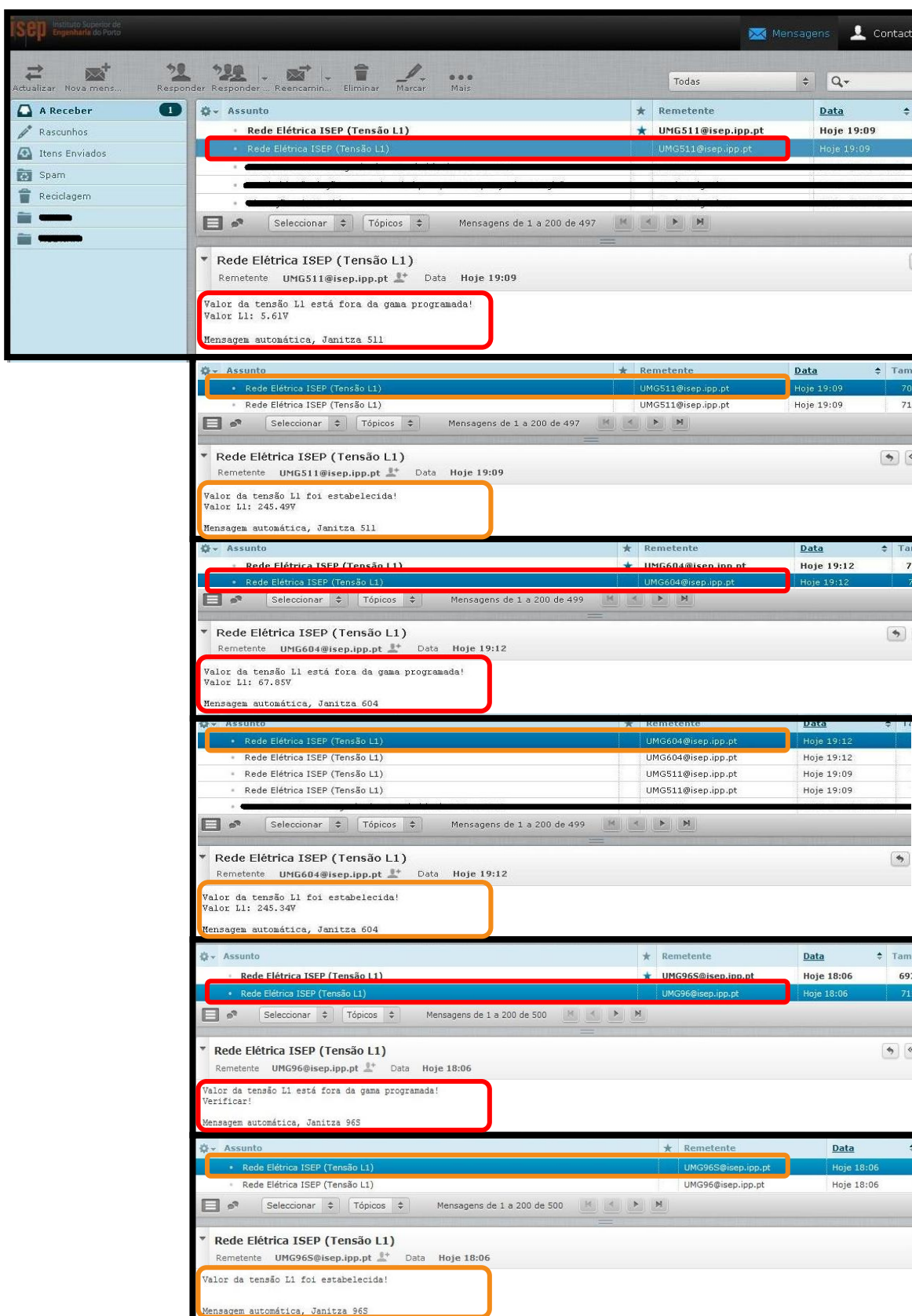


Figura 48 – Resultado final dos alertas por *email* dos três dispositivos UMG.

5.5. SÍNTESE

Neste capítulo foi validado o sistema de monitorização, tendo sido apresentados e descritos os diversos testes efetuados, que permitiram, por sua vez, anotar conclusões para o capítulo seguinte deste trabalho. Foram explicitados os testes de verificação das correntes nos dispositivos (sujeitos a cargas RLC); os testes da interface final (apenas para o edifício I e respetivo acesso à interface dos parâmetros de consumo de energia *online*); os testes referentes à encriptação das configurações dos dispositivos analisadores; o resultado final dos gráficos referentes às medições registadas; os valores usados para programar os alertas (que se encontram nas tabelas dos alertas) e, por último, os testes da funcionalidade de envio de *emails*.

6. CONCLUSÕES

Um sistema de monitorização pode oferecer diversas funcionalidades, de forma a tornar mais eficiente um edifício comercial/industrial. Essas funcionalidades permitem alertar sobre ocorrências do fornecimento de energia, que se traduzem no registo de consumos energéticos e na medição da qualidade da energia eléctrica contratada, através das quais se poderá perceber a eventual existência de riscos para a instalação eléctrica em questão. Este sistema possibilita uma diminuição da probabilidade de avarias, da ocorrência de problemas graves em equipamentos ou em elementos da instalação eléctrica visto permitir fazer uma manutenção preditiva. Neste sentido, este capítulo pretende apresentar as conclusões auferidas da implementação deste projeto e deixar algumas sugestões para trabalhos futuros, de forma a tornar o sistema ainda mais eficiente.

6.1. APRECIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Após a validação do sistema desenvolvido (no capítulo anterior), o seu desenvolvimento construiu-se por várias etapas. Dos resultados obtidos, conclui-se que a interface gráfica (HMI) cumpre com os seus propósitos, no que diz respeito à concentração da informação de forma simples e intuitiva, possibilitando a visualização dos parâmetros de consumo de energia nos pontos definidos do edifício I. O acesso aos parâmetros de consumo de energia

na *intranet* do ISEP é possível salvaguardando-se as configurações efetuadas em cada dispositivo analisador.

Com o intuito de perceber os níveis de consumo e obter valores de referência para efetuar a programação, criaram-se gráficos e tabelas de alerta.

No sentido de desenvolver um sistema apto para a monitorização de parâmetros relativos à QEE e aos consumos do ISEP e não uma análise exaustiva desses assuntos, os parâmetros de consumo escolhidos para análise foram a tensão, corrente e potência ativa porque são grandezas relevantes no que respeita a desequilíbrios de fase e ao fornecimento de energia para a instituição. Assim sendo, este sistema foi desenvolvido para comprovar a capacidade de reação perante consumos anormais, enviando *emails* informativos. Partindo deste fundamento, é possível afirmar este é um sistema típico que prevê situações de mau funcionamento, mediante registos e não através de suposições. Deste modo, é possível realizar diversas melhorias a este trabalho, onde na seção 6.2 estão apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As sugestões de desenvolvimentos futuros apresentadas abaixo, contribuirão certamente para uma melhoria contínua do sistema implementado. Estas propostas foram registadas na parte final deste trabalho, após verificação e análise de eventuais melhorias, estando-se certo de que irão aumentar a eficiência do sistema.

Estando este trabalho ligado à monitorização, sugere-se:

- (i) O aprofundamento de todas as funcionalidades dos dispositivos analisadores, inclusive o “Servidor OPC”, fornecido pela *Janitza*, as entradas/saídas digitais e analógicas de maneira a ser possível fazer o controlo de outros aspetos, como por exemplo, a temperatura, as luzes das salas, etc.;
- (ii) O registo prévio dos consumos energéticos de cada edifício do ISEP, no qual se pensa expandir o sistema de monitorização para se saber *a priori* os padrões de consumo. Deste modo permitirá uma maior precisão nos valores destinados à programação;
- (iii) O aperfeiçoamento da interface HMI a par da introdução de uma hiperligação ao *site* do ISEP ‘Visita Virtual’;
- (iv) A execução de uma análise exaustiva sobre a QEE no ISEP – nomeadamente a exploração da funcionalidade de criação de relatórios da QEE por parte do

dispositivo UMG 511 – e a incorporação de soluções para a redução do consumo de energia, mantendo o normal funcionamento da instituição;

- (v) A realização de estudos que comprovem o retorno do investimento realizado nos dispositivos analisadores de energia e qual será a melhor escolha na compra dos dispositivos – em termos de preço/qualidade/utilidade – caso seja feita a expansão do sistema de monitorização para outros edifícios da instituição;
- (vi) O aproveitamento das informações de consumo energético *online* e do programa *GridVis* para a criação de guiões práticos para as aulas de laboratório. O objetivo será possibilitar a aprendizagem deste tipo de tecnologia aos alunos do curso de engenharia eletrotécnica.

Anexos

Os anexos desta dissertação encontram-se em formato eletrónico, com a seguinte estrutura de ficheiros:

\Datasheets	Ficheiro em PDF dos dados técnicos dos dispositivos analisadores de energia e do seu funcionamento.
\Informação <i>Janitza</i>	Ficheiros em PDF de todos os esquemas elétricos.
\Laboratório Fotos	Fotografias em PDF do material de trabalho em ambiente de testes no LME.
\Programação e configurações	Ficheiros em PDF da programação desenvolvida no trabalho (alertas e HMI) e das configurações realizadas nos dispositivos analisadores.
\Programação Ficheiros	Ficheiros no formato <i>jasic</i> , da programação dos alertas, comprimidos em <i>WinRar</i> .
\Tabelas e gráficos	Ficheiros em <i>OpenOffice</i> de todas as tabelas e gráficos criados, comprimidos em <i>WinRar</i> .
\1070237_TESE_MEEC-SPI.pdf	Ficheiro em PDF deste documento.

Referências Documentais

- [1] Naeem, Dr. Wasif; Concepts in Electric Circuits. www.bookboon.com: Ed 2009.
- [2] Society of Petroleum Engineers, "Energy4me", <http://www.energy4me.org/energy-facts/energy-sources/>, verificado em agosto de 2013
- [3] FERRACCI, Philippe (2001). Cahier technique no. 199 Power Quality. Schneider Electric. 36.
- [4] Energias de Portugal, ISR; Manual da qualidade da Energia Elétrica. EDP Distribuição: Ed 2005.
- [5] Agency, International Energy; *Energy Technology Perspectives 2010*. 2010. Ed 2010.
- [6] Equipamento, Departamento de Ambiente e (2007). BPure. Boas práticas para utilização mais racional da energia em casa. Câmara Municipal de Oeiras. 28.
- [7] Lipták, Béla G.; Process Software and Digital Networks. Third edition. ISA Press: Ed 2002.
- [8] Agency, International Energy; *Key World Energy Statistics*. 2011. Ed 2011.
- [9] Change, United Nations Framework Convention on Climate (2008). *Kyoto Protocol Reference Manual. On Accounting of Emissions and Assigned Amount*. United Nations - Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. 130.
- [10] Energias de Portugal, S.A. (2006). Guia Prático da Eficiência Energética. 44.
- [11] Carlos A. Marques Pinto, José A. M. Salgado Rodrigues, Américo dos Santos, Luis T. Melo, Maria Araldina Dias Moreira, Rolando B. Rodrigues; Fundamentos de Gestão. 2nd. Ed 2009.
- [12] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty; Electrical Power Systems Quality. 2nd Edition. Ed 2002.
- [13] Abreu, Isabel (2002). Teoria da Electricidade I. ISEP, DEE. 49.
- [14] Alves, Mário Ferreira (1999). ABC dos Circuitos Elétricos em corrente Alternada. ISEP, IPP. 42.
- [15] Cerca Magalhães, Carla Maria; Joaquim Fernando Ferreira Pinto; Carla Alexandra Lourenço Valente Teixeira; Maria Manuela Pinho Ferreira; Isabel Maria Alves de Moura Teixeira (2006). "Regulamento de Publicação de Atos no Diário da República — II SÉRIE." República Portuguesa: 3334-3362.
- [16] Pereira, Manuel António Pinto Carvalho - Sistema Distribuído de Monitorização de Consumos e Qualidade de Energia Elétrica. Eletrónica Industrial e Computadores, 2011

- [17] Eletric, Schneider (2008). Automation solution guide. Schneider Electric Industries SAS.
- [18] Sankaran, C.; *Power Quality*. 2002. Cataloging in Publication Program: Ed 2002.
- [19] Gilberto Eduardo Rocha Freitas, Rodrigo José da Fonseca Corrêa (2006). Análise de Distúrbios Harmônicos em Componentes do Sistema Elétrico. Scribd.
- [20] Faria, Nuno André Cunha Correia de - Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto. 2013
- [21] Campos, Nuno Miguel Salgado - Monitorização em tempo real de parâmetros de qualidade da rede elétrica a partir de locais em Portugal Continental. Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2013
- [22] Henryk Markiewicz, Antoni Klajn (2004). Voltage Disturbances Standard EN 50160. Power Quality Application Guide. 16.
- [23] "Cutting costs – Going green! - EN 16001 – a European Standard for Efficient Energy Management", <https://www.cen.eu/cen/News/PressReleases/Pages/EN16001.aspx>,
- [24] Lab, Power Standards (2000). Power Standards Lab.
- [25] Munoz, Antonio Moreno (2007). Power Quality. Mitigation Technologies in a Distributed Environment Springer. 423.
- [26] Gallego, Miguel Romero; Ricardo Pardo; Luis (2011). Developing a PQ monitoring system for assessing power quality and critical areas detection. REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN.
- [27] Dr. Kurt Schipman, Dr. François Delincé (2010). The importance of good Power Quality. ABB Power Quality Products.
- [28] Eletric, Schneider (2007). Redes de Comunicação Industrial. Documento técnico nº2. Schneider Eletric, Schneider Eletric. 44.
- [29] Technologies, IDC; Industrial Automation. Bookboon.com: Ed 2012.
- [30] Jonson, Thomas (2000). *Public key Cryptography: PGP, SSL, and SSH*. SANS. 13.
- [31] GmbH, Janitza electronics (2009). *Help for Programming language JASIC*. Janitza Eletronics. 128.