

Estratégias para a Otimização de Meios e Recursos em Instalações Municipais

Flávio Humberto Galego

Orientador: Sérgio Augusto Pires Leitão

Dissertação submetida à
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Para obtenção do grau de
Mestre
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007, CAPÍTULO I

Estratégias para a Otimização de Meios e Recursos em Instalações Municipais

Flávio Humberto Galego

Orientador: Sérgio Augusto Pires Leitão

Dissertação submetida à
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Para obtenção do grau de
Mestre
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série – A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março e no
Regulamento de Estudos Pós-Graduados da UTAD
DR, 2.ª série – Deliberação n.º 2391/2007, CAPÍTULO I

Agradecimentos

A realização deste trabalho resulta da colaboração de várias pessoas as quais quero expressar os meus agradecimentos:

Ao Eng.º Sérgio Leitão, meu orientador, pelo apoio e coordenação demonstrado ao longo deste trabalho.

À Dr.ª Olga Andrade, ao Técnico de Eletricidade Júlio Afonso e aos operadores da Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro, pela disponibilização e informação prestada essencial para este trabalho.

À minha família, e em muito em especial à minha mulher pela paciência, apoio e incentivo que em muito ajudou na elaboração deste trabalho.

A todos, muito obrigado

Resumo

Esta dissertação, tem como objetivo principal a redução dos custos energéticos das instalações elétricas, sejam estas pela alteração do método de funcionamento ou pela instalação de novos equipamentos que contribuam para a redução da fatura energética.

Este trabalho incidirá sobre duas instalações Municipais, “Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro” e respetiva “Captação no Rio Douro”.

Pretende-se com este trabalho realizar uma auditoria nas instalações e verificar os pontos onde é desperdiçada mais energia elétrica propondo soluções e apresentar uma análise técnico/económica.

Embora este estudo incida apenas sobre duas instalações, o objetivo é implementar o mesmo tipo de estudo e técnicas em outras instalações do Município (sejam instalações de tratamento de águas, tratamento de águas residuais, estações elevatórias, edifícios municipais, etc.) multiplicado assim a redução do consumo sem no entanto colocar em causa o serviço prestado.

O trabalho foi realizado com a colaboração dos funcionários da Câmara Municipal, nomeadamente os técnicos e funcionários das instalações, o que proporcionou um melhor conhecimento sobre a realidade das mesmas.

No final, também serão apresentadas outras soluções para implementações futura, que deverão ser estudadas a fim de verificar as suas viabilidades.

Abstract

The aim of this work is to analyze the reduction of energy costs in electrical installation by changing the method of operation or installation of new equipment that will help to reduce the energy bill.

This work will focus on two municipal facilities, "Water Treatment Station of Miranda do Douro" and " Water Catchment on the Douro River."

The aim of this study was to audit the facilities and check the points where energy is wasted on by proposing solutions and present an analysis of technical / financial.

Although this study focuses only on two facilities, the goal is to implement the same type of study techniques in other municipality facilities (water treatment plants, wastewater treatment plants, pumping stations, municipal buildings, etc.) increasing the reducing consumption without compromising the service.

The work was done in collaboration with the staff of the City employees, including the technical and staff of the facilities, which will provide a better understanding the operation of the facilities.

Finally other solutions are also be presented for future implementations, which should be studied to check their viability.

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract.....	IX
Índice	XI
Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas.....	XVII
Lista de Abreviaturas e Acrónimos.....	XIX

1. Introdução 1

1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos do trabalho	1
1.3 Organização da dissertação	2

2. Conceitos Prévios 5

2.1 Auditorias Energéticas	5
2.1.1 Metodologia.....	5
2.1.1.1 Planeamento.....	6
2.1.1.2 Trabalho de Campo.....	7
2.1.1.3 Tratamento da informação	7
2.1.1.4 Elaboração do Relatório Final	8
2.1.2 Meios Técnicos Utilizáveis.....	9
2.2 Análise de Faturas de Energia Elétrica	10
2.2.1 Parcela de energia	10
2.2.2 Parcela de Potência	13

2.2.3	Opção tarifária	13
2.3	Fator de Potência	14
2.3.1	Efeitos da energia reativa nas redes elétricas	16
2.3.2	Compensação do fator de potência.....	17
2.3.3	Como corrigir o fator de potência de uma instalação.....	18
2.3.4	Cálculo da Potência de Compensação.....	19
2.3.5	Formas de compensação	22
2.3.5.1	Compensação Individual.....	22
2.3.5.2	Compensação por Grupos Recetores	23
2.3.5.3	Compensação Geral	23
2.3.5.4	Compensação Combinada.....	24
2.3.6	Compensação Automática	25
2.3.7	Conceito de Parametrização	25
2.3.7.1	A Parametrização física	26
2.3.7.2	Parametrização elétrica	26
2.4	Harmónicos	27
2.4.1	Origem das harmónicas	29
2.4.2	Principais harmónicas medir e combater.....	30
2.4.3	Taxa de distorção harmónica (THD).....	30
2.4.4	Impacto económico	31
2.4.5	Soluções para a compensação de harmónicas	32

3. Instalações e processo produtivo 33

3.1	Estação de Tratamento de Água de Miranda do Douro	33
3.1.1	Estação de Tratamento	35
3.1.2	Bombas da Simona	37
3.1.3	Bombas da Zona Industrial	39
3.1.4	Bombas de Malhadas	40
3.1.5	Bombas do Centro Histórico	41

3.1.6 Bombas de Captação do Rio Douro	42
3.2 Perfil de consumo	43
4. Soluções propostas	47

4.1 Alteração nos procedimentos/horários de produção/abastecimento dos depósitos e consumidores	47
4.1.1 Estação de tratamento	47
4.1.2 Bombas da Simona	50
4.1.3 Bombas da Zona Industrial	53
4.1.4 Bombas de Malhadas	53
4.1.5 Bombas do Centro Histórico	55
4.2 Instalação/alteração de equipamentos	55
4.2.1 Bateria de condensadores	56
5. Resultados, conclusões e trabalho futuro	59

5.1 Resultados	59
5.2 Conclusões	61
5.3 Trabalho Futuro	63
5.3.1 Instalação de arrancadores suaves nas bombas do tratamento e ETA	63
5.3.2 Motores de alto rendimento	65
5.3.3 Instalação de caudalímetros	66

Referências Bibliográficas

Anexos

Índice de Figuras

Figura 2-1 Analisador de energia	9
Figura 2-2 Ciclo Semanal – Baixa Tensão Especial.....	12
Figura 2-3 Ciclo Diário Baixa Tensão Especial.....	12
Figura 2-4 Comparação entre a Potência Tomada e Potência Contratada [1].....	13
Figura 2-5 Consumo de energia entre a fonte e recetores indutivos	14
Figura 2-6 Triângulo de potências de uma instalação	15
Figura 2-7 Fluxo de potências numa instalação com $\cos \phi$ 0.78.....	16
Figura 2-8 Fluxo de potências numa instalação com $\cos \phi$ 0.98.....	16
Figura 2-9 Representação de cargas numa instalação compensada [6]	18
Figura 2-10 Relação entre a corrente e o $\cos \phi$ [3]	19
Figura 2-11 Exemplo de compensação individual [2]	22
Figura 2-12 Exemplo de compensação por grupo [2].....	23
Figura 2-13 Exemplo de compensação geral [2]	24
Figura 2-14 Exemplos de parametrizações [2]	26
Figura 2-15 Decomposição de uma onda.....	28
Figura 3-1 Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro.....	33
Figura 3-2 Estação de Tratamento.....	36
Figura 3-3 Esquema de sondas ETA	36
Figura 3-4 Esquema de funcionamento tratamento de águas	37
Figura 3-5 Depósitos da Simona.....	37
Figura 3-6 Esquema de sondas depósitos da Simona	38
Figura 3-7 Localização das bombas de água tratada na ETA	38
Figura 3-8 Bombas da Simona e Zona Industrial	39
Figura 3-9a Esquema de sondas depósito da Zona Industrial.....	39
Figura 3-9b Depósito da Zona Industrial	39

Figura 3-10 Bombas de Malhadas	40
Figura 3-11 Esquema de funcionamento Bombagem Malhadas	41
Figura 3-12 Bombas do Centro Histórico	42
Figura 3-13a Bombas de Captação (interior da central).....	42
Figura 3-13b Localização do quadro de Comando	42
Figura 3-14 Repartição do consumo anual de energia ativa na ETA em função dos diferentes horários de faturação	43
Figura 3-15 Repartição do consumo de energia ao longo do ano de 2011 (ETA)	44
Figura 3-16 Perfis de consumo diário (ETA)	45
Figura 4-1 Esquema de sondas do depósito de águas tratadas (ETA)	48
Figura 4-2 Horário de funcionamento do tratamento/períodos horários no ciclo diário de inverno/verão.....	48
Figura 4-3 Fluxograma proposto do esquema de comando do tratamento	49
Figura 4-4a Consumo Bomba 1	51
Figura 4-4b Consumo Bomba 2.....	51
Figura 4-5 Fluxograma do esquema de comando das bombas da Simona.....	52
Figura 4-6 Esquema do Kit Fotovoltaico [4]	54
Figura 4-7 Esquema simplificado das ligações da ETA	55
Figura 5-1 Comparação-Arranque Direto/Suave [1].....	64
Figura 5-2 Comparação-Arranque Direto/Suave (correntes de arranque) [1].....	65

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 - Ciclo Semanal (BTE)	11
Tabela 2-2 - Ciclo Diário (BTE)	11
Tabela 2-3 – Relação entre Cos φ e secção dos condutores	17
Tabela 2-4 – Coeficiente (F) – Correlação entre cos φ inicial e pretendido de uma instalação.....	21
Tabela 4-1 – Tabela comparativa de corrente absorvida e caudais entre a Bomba 1 e Bomba 2	51
Tabela 4-2 – Resumo faturas 2011 (ETA) e cálculo para correção do cos φ	56
Tabela 4-3–Resumo faturas 2011/2012(Captação) e cálculo para correção do cos φ	57
Tabela 5-1 – Cálculo da poupança obtida na ETA pela introdução das alterações no método de funcionamento.....	60
Tabela 5-2 – Cálculo da poupança obtida na Captação do Rio Douro pela introdução das alterações no método de funcionamento.....	60
Tabela 5-3 – Quadro resumo das poupanças na ETA e Captação	61
Tabela 5-4 – Cálculo das poupanças globais.....	61



Lista de Abreviaturas e Acrónimos

ETA – Estação de Tratamento de Águas

BTE – Baixa Tensão Especial

EP – Empresa Produtora

PC – Potência Contratada

PT – Potência Tomada

Cos φ – Fator de Potência

kW – kilo Watt

kWh – kilo Watt hora

kvarh – kilo Volt-Ampere hora

Ir - Corrente Reativa

THD – Total Harmonic Distortion (taxa de distorção harmônica total)

THDi – Taxa de Distorção Harmónica em Corrente

THDu – Taxa de Distorção Harmónica em Tensão

PM – Potência Média

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A gestão de energia é frequentemente negligenciada, facto que gera significativos desperdícios de energia e contribui para um aumento dos custos de produção.

Adicionalmente, continua presente a ideia de que a substituição de equipamentos acarreta necessariamente um aumento dos consumos de energia.

O conceito de Utilização Racional de Energia, surgido no seguimento dos chamados choques petrolíferos, veio alterar decisivamente a forma de encarar a energia, demonstrando ser possível aumentar a produção sem aumentar os consumos ou afetar a qualidade da produção. A chave da questão designa-se gestão de energia.

Como qualquer outro fator de produção, a energia deve ser gerida contínua e eficazmente.

Embora o argumento da competitividade continue naturalmente a ser aquele que mais sensibiliza a generalidade dos industriais, a crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade de utilizar eficientemente a energia. Seja por imposição legal, seja pela necessidade de cumprir requisitos ambientais como forma de aceder a sistemas de apoio ou simplesmente por uma questão de imagem ou pressão da opinião pública, cada vez mais a eficiência energética está na ordem do dia. [1]

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo final deste trabalho é a poupança financeira, ou seja reduzir os custos de produção, melhorando o desempenho das instalações.

Deste modo, será necessário começar pela realização de uma auditoria as instalações, verificar e identificar os desperdícios existentes, proceder uma análise exaustiva sob o método de funcionamento, processo, consumos e produção e encontrar soluções que mais se adequam a cada caso.

Posteriormente, serão apresentados os resultados das soluções e medidas propostas, indicando os custos de investimento, percentagens poupadas, e o payback em meses, de modo a verificar os custos benefícios de cada medida.

Como resultado final pretende-se demonstrar que é possível poupar energia sem afetar o normal funcionamento e serviço prestado pelas instalações, melhorando assim o desempenho e aumentando vida útil dos seus equipamentos.

Neste trabalho, serão abordados dois casos de estudo, nomeadamente a Captação de Águas do Rio Douro, instalada junto à barragem de Miranda do Douro e que leva a água bruta até a Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro, em que esta por sua vez, recebe a água bruta e através de processos químicos e físicos trata essa água bruta de modo a torná-la potável para a posterior distribuição às diversas localidades do Concelho de Miranda do Douro.

Inicialmente serão abordados alguns conceitos teóricos necessários para a realização deste trabalho e serão apresentadas algumas orientações de como se deve proceder a uma auditoria energética, neste caso para as instalações em estudo.

Seguidamente será descrita as instalações, bem como o seu método de funcionamento.

Será então analisado o processo de produção da água potável desde a sua captação até a distribuição aos depósitos intermédios e localidades.

Serão propostas alterações ao nível do funcionamento como a deslocação dos horários de funcionamento sem afetar os serviços prestados pelas instalações, também serão apresentadas soluções ao nível da redução do consumo de energia reativa através da instalação de baterias de condensadores.

Quando possível, será feito um estudo comparativo entre máquinas que trabalham em paralelo, de modo a propor o funcionamento das máquinas com melhores rendimentos a operar em horários onde a energia é mais cara, deixando o funcionamento das máquinas com piores rendimentos para os horários onde a energia é mais barata.

Neste trabalho, também serão apresentadas algumas soluções e ideias para implementações futuras, no entanto, estas deverão ser estudadas e analisadas de modo a verificar a sua viabilidade.

Este estudo permite demonstrar que existe muito trabalho a fazer no que toca a poupança de energia, e que esta é uma área que deve estar em constante evolução, pois do mesmo modo que varia o tipo de faturação da energia também surgem novas tecnologias e técnicas que podem ajudar a redução dos consumos.

1.3 Organização da dissertação

Este trabalho está organizado em 5 capítulos e 2 anexos, sendo que o presente capítulo descreve o enquadramento deste trabalho e os objetivos pretendidos.

No segundo capítulo serão abordados alguns conceitos teóricos, metodologias de trabalho, interpretação das faturas de energia elétrica, compensação da energia reativa e harmónicos.

O terceiro capítulo descreve de forma detalhada as instalações deste caso de estudo, nomeadamente a Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro (ETA) e a Captação do Rio Douro, bem como os diversos equipamentos instalados e seu modo de funcionamento.

O quarto capítulo é dedicado ao estudo e apresentação das soluções propostas indicando os tipos de equipamentos, esquemas de ligações e modo de funcionamento bem como os custos e benefícios dessas mesmas soluções

O último capítulo faz referências às conclusões obtidas deste trabalho sendo também referenciadas propostas para estudos e implementações futuras.

2. Conceitos Prévios

2.1 Auditorias Energéticas

Mais cedo ou mais tarde, instrumentos políticos de mercado, como taxas ou impostos ambientais, introduzirão o princípio do poluidor pagador, penalizando fortemente as empresas menos preparadas, nesta altura a auditoria energética assumirá particular importância.

Com efeito, qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. O princípio é óbvio - para gerir é indispensável conhecer o objeto de gestão.

O levantamento energético pode interpretar-se como a primeira “radiografia” ao desempenho energético da instalação. Através dele, avalia-se quanta energia é efetivamente consumida e de que forma é essa energia utilizada, estabelecem-se os principais fluxos e identificam-se os sectores ou equipamentos onde é prioritário atuar.

Por auditoria energética entende-se o exame detalhado das condições de utilização de energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detetadas.

A auditoria energética surge assim como um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma. [1]

2.1.1 Metodologia

A condução eficaz de uma *auditoria energética* é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência corretas, que passa pelas seguintes fases:

- Análise detalhada das faturas de energia do ano que antecede a auditoria, dado que se verificam condições de repetibilidade neste período.
- Análise física detalhada aos equipamentos geradores/consumidores de energia existentes na instalação, suas condições de operação/controlo, assim como os cuidados de manutenção e o seu tempo de funcionamento.
- Estudo no qual são indicados os resultados e medidas a tomar para a redução dos consumos energéticos em áreas específicas.

Deste modo, as auditorias energéticas permitem fornecer informações específicas e identificar as possibilidades reais de economias de energia, consistindo basicamente num exame crítico da forma como é utilizada a energia com base nos registos, tanto quanto possível rigorosos, dos consumos e custos.

De uma forma resumida, poder-se-á dizer que uma *auditoria energética* a uma instalação consumidora de energia tem por objetivos:

- Quantificar os consumos e custos por forma de energia;
- Examinar o modo como a energia é utilizada na instalação;
- Relacionar o consumo de energia com a produção, determinando um indicador energético de grande relevância, o consumo específico de energia;
- Determinar os consumos de energia por sector, processo ou equipamento;
- Examinar detalhadamente o modo como a energia é utilizada;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Propor medidas corretivas e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Propor, no caso de ainda não existir, um sistema organizado de gestão de energia.

Na execução de uma auditoria energética, é muito importante e decisiva a definição e o estabelecimento da sequência das ações que possibilitem obter um conhecimento profundo da instalação em análise, de modo a detetar, quantificar e tentar corrigir as perdas de energia existentes.

O faseamento de uma auditoria depende do seu âmbito, assim como da dimensão e do tipo das instalações a auditar. Duma maneira geral pode-se considerar as seguintes fases:

- Planeamento
- Trabalho de campo
- Tratamento da informação
- Elaboração do relatório com formulação de recomendações.

2.1.1.1 Planeamento

A fase de planeamento de uma auditoria reveste-se de grande importância, constituindo uma etapa decisiva para a qualidade do trabalho a desenvolver. Entre as diversas tarefas a realizar nesta fase, destacam-se o estabelecimento de objetivos, a seleção da equipa auditora e a atribuição das devidas responsabilidades.

Deve começar-se por reunir alguma informação da empresa, enviando um questionário para preenchimento, que normalmente é completado com uma visita prévia às instalações. Estas

informações vão servir para prever a duração da auditoria, a especialização da equipa auditora e o equipamento de medida necessário.

Durante a visita prévia devem esclarecer-se dúvidas relativas ao questionário e efetuar uma visita às instalações para reconhecimento das mesmas, podendo então estabelecer-se a duração da auditoria. Deve-se também identificar a informação a obter (faturas energéticas, quantidades produzidas, etc.) e a existência ou não de pontos de medição. [1]

2.1.1.2 Trabalho de Campo

Já nas instalações e sempre que tal seja necessário, a equipa de auditores deverá começar por completar e corrigir a informação previamente solicitada à empresa.

Como já foi dito anteriormente, a realização de uma auditoria energética pressupõe o conhecimento correto da estrutura dos consumos de energia da instalação a auditar, dos consumos típicos globais e de cada um dos equipamentos que a utilizam. Assim, os fluxogramas surgem como uma ferramenta essencial no estudo do processo produtivo que permite saber onde e como são utilizadas as formas de energia consumidas.

Esta fase compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, começando por fazer todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia, analisando as operações ou os equipamentos mais consumidores de energia. O auditor deve também familiarizar-se com o processo produtivo e as tecnologias que a ele estão associadas.

Nesta fase devem-se recolher todos os elementos necessários para a elaboração de um balanço global à instalação.

Quando existirem equipamentos grandes consumidores de energia deve também fazer-se um balanço de massa e energia a esses equipamentos, com o intuito de determinar a quantidade de energia consumida. Posteriormente proceder a sua regulação, controlo e manutenção mais adequada, assim como a implementação de sistemas de recuperação de energia.

A eficácia da auditoria depende fortemente da qualidade do trabalho desenvolvido nesta fase. Para além de uma formação na área da energia, a intervenção no local exige um conhecimento mais ou menos profundo dos processos produtivos a analisar e das tecnologias de processo disponíveis. O trabalho de campo requer ainda, acima de tudo, uma atenção permanente da parte do auditor, de modo a que todas as situações passíveis de correção sejam detetadas. [1]

2.1.1.3 Tratamento da informação

Após a intervenção no local, os auditores deverão organizar e tratar toda a informação recolhida ao longo das duas primeiras fases. O tratamento da informação deve privilegiar a

produção de um conjunto de indicadores e outros resultados, de natureza quantitativa, susceptíveis de permitir uma avaliação rigorosa do desempenho energético da instalação.

A equipa de auditores deverá realizar os cálculos dos consumos específicos de energia por equipamento, por produto, por sector produtivo e o global da instalação. Serão também determinadas as eficiências energéticas dos equipamentos maiores consumidores de energia, que deverão ser analisadas criticamente e comparadas com os equipamentos comercializados que apresentem bons rendimentos.

Será necessário analisar detalhadamente o processo de fabrico no sentido de verificar a correção dos procedimentos e identificar possíveis alterações que conduzam a um incremento da eficiência energética sem colocar em causa os níveis de produção e a qualidade dos mesmos.

Detetadas as situações de má utilização de energia, o auditor estudará as possíveis soluções a implementar para corrigir as anomalias. Deverá ser realizada uma análise técnico-económica a todas as soluções que eventualmente possam ser implementadas e quantificadas as potenciais economias de energia. [1]

2.1.1.4 Elaboração do Relatório Final

No relatório final deve constar de forma organizada toda a informação recolhida, a análise sobre a situação energética da empresa, as situações encontradas, a identificação das anomalias e propostas as medidas consideradas mais convenientes para as anular ou diminuir. Este documento deverá apresentar aos gestores da empresa, de uma forma organizada, clara e concisa, toda a informação relevante sobre a situação energética da instalação.

Ao elaborar o relatório, o auditor deverá ter presente a ideia de que a *auditoria energética* constitui o primeiro passo para a implementação de um processo contínuo de gestão de energia.

O relatório final deverá conter um sumário, apresentando desde logo uma síntese dos resultados alcançados e a formulação de recomendações. Desta forma, permite ao leitor ter uma visão global do conteúdo do relatório.

A estrutura de um relatório de auditoria é necessariamente afetada pelas características específicas de cada atividade e da instalação auditada, devendo constar os seguintes elementos:

Objetivos e enquadramento da auditoria;

- Identificação da instalação;
- Contabilidade energética;
- Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;
- Cálculo de consumos específicos de energia por produto produzido e a sua comparação com os valores legislados.

2.1.2 Meios Técnicos Utilizáveis

Como já foi referido anteriormente, o trabalho de campo compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, devendo ser efetuadas todas as medições necessárias à identificação das possibilidades reais de economias de energia.

Assim, a necessidade de determinar os consumos de energia sob diferentes formas, constitui um requisito básico para a realização de uma auditoria energética. Controlar os fluxos de energia que entram, circulam e saem da empresa é extremamente importante para quantificar as perdas de energia.

Para cada situação de medição existem diversas soluções, mas para que a escolha da mais apropriada é imprescindível conhecer as possibilidades e as características dos equipamentos de medição.

Neste documento apenas será abordado a vertente elétrica das instalações, uma vez que as outras grandezas (gases, temperatura, humidade, etc.) não serão âmbito do estudo.

Um analisador de energia elétrica (Figura 2-1) é um equipamento que permite medir um conjunto de grandezas que definem um sistema elétrico. Existem vários tipos, cada um com o seu princípio de funcionamento, mas basicamente todos apresentam o mesmo resultado final. São equipamentos portáteis, fáceis de transportar devido às suas dimensões e peso, e de fácil utilização. Possuem uma ou mais pinças amperimétricas e cabos medidores de tensão, que permitem fazer as leituras das diferentes grandezas elétricas.



Figura 2-1 Analisador de energia monofásico

Existem modelos de analisadores de energia elétrica que permitem registos dos valores instantâneos, médios e máximos em intervalos de tempo definidos pelo operador, relativos às tensões, correntes, fatores de potência ($\cos \varphi$), potências ativas, reativas e aparentes, e consumos quer por fase quer entre fases.

Em alguns modelos é também possível medir e analisar as distorções provocadas pelas harmónicas introduzidas por certas cargas na rede elétrica.

Os analisadores de energia elétrica, são instrumentos que poderão servir de apoio ao auditor, devido à informação por ele fornecida, permitindo tirar conclusões relativamente às grandezas elétricas características de um circuito elétrico de uma instalação ou equipamento, como por

exemplo: o fator de potência, o diagrama de carga, o índice de carga dos transformadores, o equilíbrio entre fases, etc. [1]

2.2 Análise de Faturas de Energia Elétrica

Indicam-se nesta secção, de forma reduzida e não exaustiva, algumas constatações que poderão fazer-se com base na análise das faturas elétricas, tendo em vista a economia de energia e/ou redução da fatura elétrica.

Preferivelmente estas constatações deverão ser conjugadas com a análise de outros dados disponíveis, quando os houver (diagramas de carga, medições de consumos de sectores produtivos e evolução da produção ao longo do período coberto pelas faturas).

A análise das faturas elétricas serve essencialmente para:

- Verificar se a opção tarifária da empresa é a melhor;
- Analisar a distribuição dos consumos por horas cheias, vazio e pontas;
- Se existe pagamento de energia reativa ou não;
- Evolução da potência em horas de ponta e da potência contratada.

A estrutura da fatura elétrica continua a basear-se na separação entre uma parcela que paga a energia e uma parcela associada à potência. No tarifário em vigor foi criado um termo adicional, designado por termo fixo, mas que tem muito pouca importância em termos de peso na fatura final.

A parcela de energia mantém uma estrutura de cálculo baseada na multiplicação do preço do kWh pelo consumo, desagregado por períodos tarifários (ponta, cheia, vazio e super-vazio).

A parcela de potência sofre alterações metodológicas, sendo-lhes dedicada uma atenção mais profunda. [1]

2.2.1 Parcela de energia

A energia ativa consumida poderá ser faturada em três ou quatro períodos horários: horas de ponta, horas cheias, horas de vazio normal e horas de Super Vazio. Existe ainda a distinção entre consumos em dois períodos anuais: Horário de Verão e Horário de Inverno.

Na tabela 2.1 apresenta-se os horários para os diferentes períodos tarifários para a opção tarifária de ciclo semanal.

Tabela 2-1 - Ciclo Semanal – Baixa Tensão Especial [2]

Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
-Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super Vazio:	02.00/06.00 h	Super Vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super Vazio:	02.00/06.00 h	Super Vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio Normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super Vazio:	02.00/06.00 h	Super Vazio:	02.00/06.00 h

Na tabela 2-2 apresenta-se os horários para os diferentes períodos tarifários para a opção tarifária de ciclo diário.

Tabela 2-2 - Ciclo Diário Baixa Tensão Especial [3]

Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h 18.00/20.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h 10.30/18.00 h 20.30/22.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h 13.00/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio Normal:	22.00/02.00 h 06.00/08.00 h	Vazio Normal:	22.00/02.00 h 06.00/08.00 h
Super Vazio:	02.00/06.00 h	Super Vazio:	02.00/06.00 h

Na figura 2-2 e 2-3 estão representados graficamente os tarifários e ciclos horários.

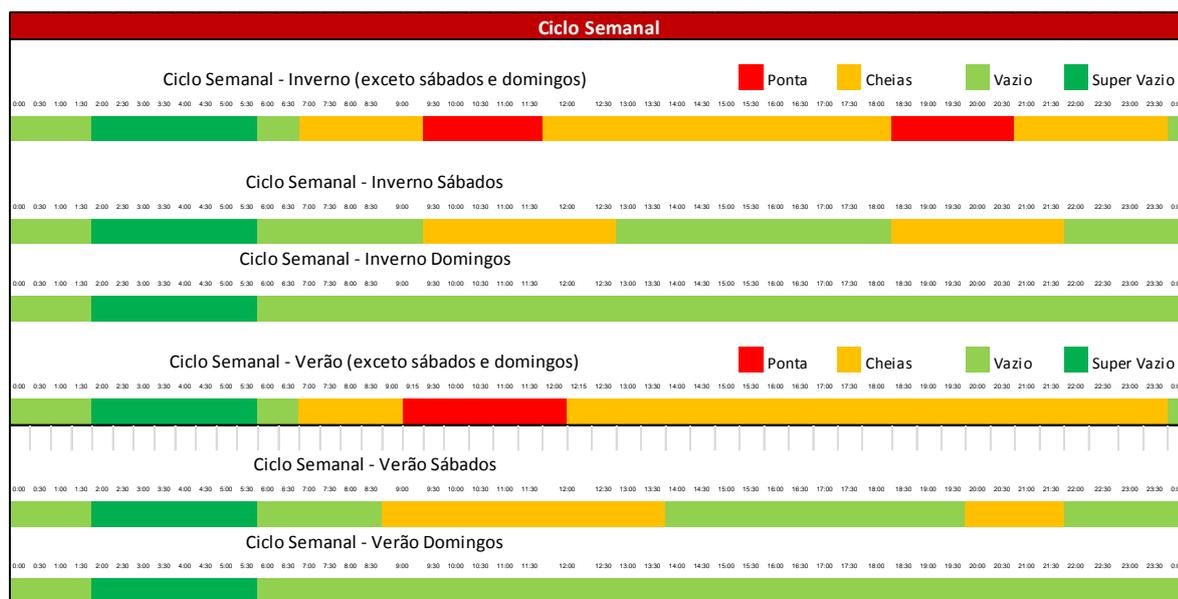


Figura 2-2 Ciclo Semanal

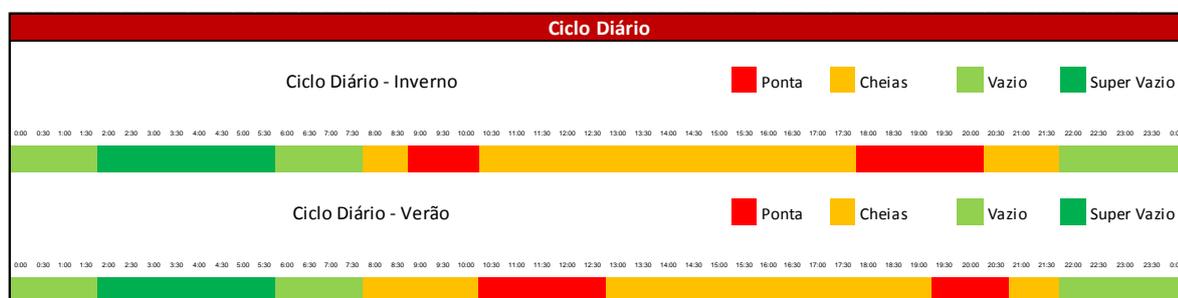


Figura 2-3 Ciclo Diário

Os valores de consumo de energia ativa nos diversos períodos diários, conjugados com a análise do tipo de processo da empresa, podem sugerir medidas destinadas a reduzir custos energéticos.

Por vezes, consumos substanciais podem ser transferidos das horas de ponta para as horas cheias ou de vazio.

Se existirem grandes diferenças nas percentagens mensais de energia consumida nestes três ou quatro períodos, essa circunstância pode dever-se a exigências da laboração ao longo do ano. Mas pode também significar falta de controlo em relação à forma como a energia é consumida.

A transposição para forma gráfica dos valores dos consumos das faturas de energia elétrica, ao longo de doze meses, constitui uma espécie de diagrama de cargas anual. A sua evolução pode confirmar alterações significativas nas instalações ou no ritmo de laboração, ou ainda anomalias e irregularidades no processo de produção. [1]

2.2.2 Parcela de Potência

A situação de mínimo custo é a absoluta concordância entre a Potência Contratada (PC) e a Potência Tomada, devendo ambas ter o mínimo valor possível.

A solução mais adequada será a da determinação da potência mínima a contratar, esta deve ser calculada com base na máxima potência tomada registada nos últimos 12 meses, sendo que a potência tomada (PT) não deverá ser superior a esta.

Se nas faturas existirem discrepâncias significativas entre cada mês na PC e PT, dever-se-á analisar hipóteses de medidas a tomar, como sejam o controle de pontas, o deslastes de cargas, etc.

Se as faturas de mais de doze meses mostrarem que o consumidor está com uma potência tomada muito abaixo do valor da potência contratada, deverá pedir a redução deste segundo valor, como se pode verificar pela análise da figura 2-4.

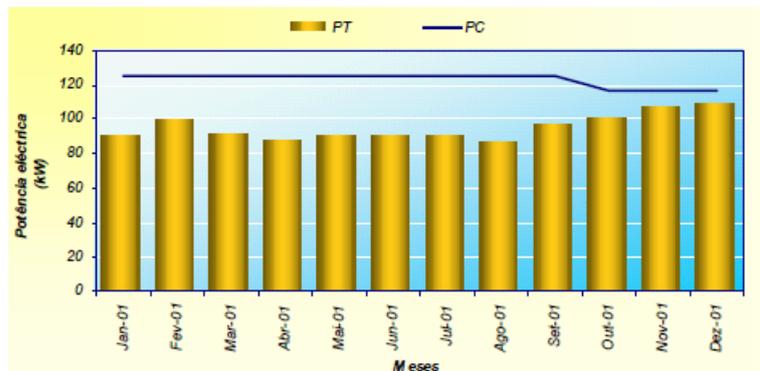


Figura 2-4 Comparação entre a Potência Tomada e Potência Contratada [1]

A Potência em Horas de Ponta corresponde ao quociente mensal entre a energia ativa consumida em horas de ponta e o número de horas de ponta para o mesmo período.

A Potência em Horas de Ponta irá assumir valores inferiores aos registados pela Potência Tomada, enquanto esta potência se baseia em períodos de 15 minutos, a Potência em Horas de Ponta dilui-se por cerca de 120 horas/mês.

A Potência Contratada é calculada pela máxima Potência Tomada nos últimos 12 meses. Tal traduz-se numa correção automática, enquanto no anterior tarifário a correção automática só ocorria quando a Potência Contratada aumentava, ficando a cargo do cliente a sua correção para um menor valor, por solicitação à empresa comercializadora de Energia Elétrica. [1]

2.2.3 Opção tarifária

Em cada nível de tensão são postas à disposição dos consumidores diversas opções tarifárias, sendo para cada uma delas impostos limites da potência contratada.

A opção tarifária adotada pelas empresas nem sempre é a que minimiza os custos da fatura de energia elétrica, como tal também deverá fazer-se uma análise deste fator.

Uma ou mais faturas de energia elétrica fornecem os elementos necessários que permitem apurar se esta situação se verifica ou não.

Em geral, para verificar se a opção tarifária é a ideal para a empresa consumidora basta considerar os valores dos consumos registados nas faturas e recalculá-la a quantia a pagar, substituindo os preços unitários pelos seus correspondentes de outras opções tarifárias. [1]

2.3 Fator de Potência

Genericamente, todas as máquinas elétricas alimentadas com corrente alternada transformam a energia elétrica fornecida em energia elétrica com outras características, trabalho mecânico e calor. Esta energia mede-se em kWh e denomina-se por energia ativa.

Os recetores que absorvem unicamente este tipo de energia denominam-se por resistivos.

Certos recetores necessitam de campos magnéticos para o seu funcionamento (motores, transformadores...) e consomem outro tipo de energia denominada por energia reativa.

A razão é que este tipo de cargas (denominadas indutivas) absorvem energia da rede durante a criação dos campos magnéticos de que necessitam para o seu funcionamento e fornecem energia à rede durante o funcionamento das mesmas.

Na figura 2-5 ilustra-se a transferência de energia entre os recetores e a fonte, a qual provoca perdas nos condutores, quedas de tensão nos mesmos, e um consumo suplementar de energia que não é diretamente aproveitada pelos recetores.

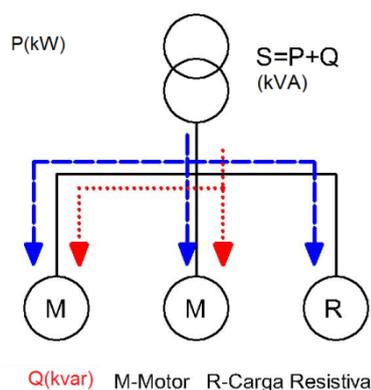


Figura 2-5 Consumo de energia entre a fonte e recetores indutivos

A ligação de cargas indutivas numa instalação provoca o desfasamento entre as ondas de corrente e de tensão.

O ângulo ϕ é o desfasamento entre a tensão e a corrente e Q representa a potência reativa, expressa em Volt-ampere reativo (VAr).

Esta mesma relação é estabelecida entre as potências ou energias ativa e reativa.

Na figura 2-6, apresenta-se o triângulo de potências e a relação para o cálculo do fator de potência.

O $\cos \varphi$ indica a relação entre a potência ativa e a potência aparente da instalação.

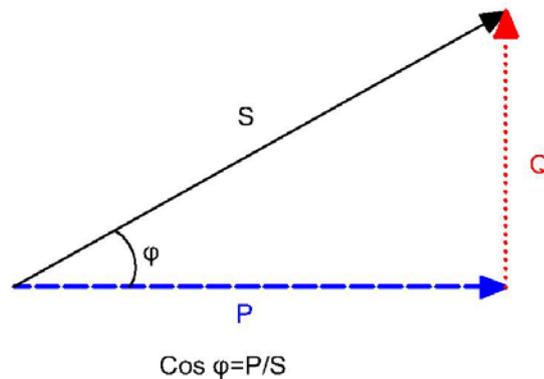


Figura 2-6 Triângulo de potências de uma instalação

Do triângulo concluiu-se que mantendo constante o valor de P , quanto menor for Q menor será S . Recordando que:

- P é responsável pelo trabalho realizado pela energia elétrica dentro da instalação;
- S é responsável pela carga do gerador e sistema de transporte dessa energia.

Facilmente se compreende que a situação ideal corresponde a $S=P$, isto é $Q=0$.

Anular Q não é possível. Pode no entanto criar-se artificialmente uma potência reativa de sinal contrário através da introdução de condensadores.

Isto significa compensar a potência reativa, anulando o seu efeito quando visto de exterior da instalação. Compreende-se então que a energia reativa se não for compensada pelo utilizador seja faturada pela Empresa Comercializadora de Energia Elétrica.

Indiretamente, a potência útil de que se pode dispor numa instalação aumenta conforme se aumenta o $\cos \varphi$ da instalação.

A potência instantânea de uma instalação é composta por duas parcelas: a potência oscilante a uma frequência dupla da fundamental, e a potência média ($PM = VI \cos \varphi$) que realmente nos indica a potência útil ou ativa da instalação e que tem um valor constante. [4]

Na figura 2-7 e 2-8 pode observar-se que quanto melhor é o $\cos \varphi$ de uma instalação (mais próximo de 1) maior é a potência média, em kW, da instalação.

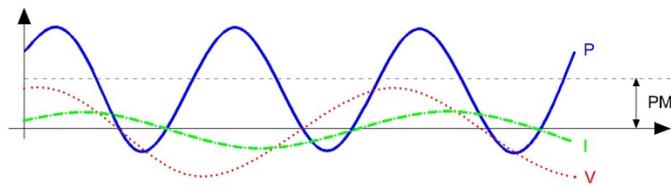


Figura 2-7 Fluxo de potências numa instalação com $\cos \phi$ 0.78

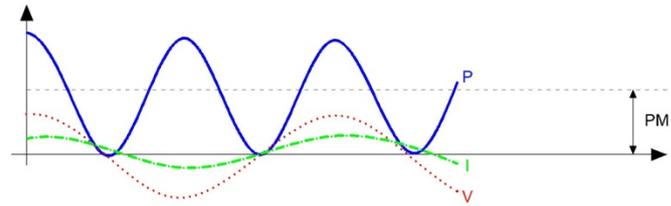


Figura 2-8 Fluxo de potências numa instalação com $\cos \phi$ 0.98

2.3.1 Efeitos da energia reativa nas redes elétricas

Os consumos de energia reativa, determinados por baixos valores do fator de potência, apresentam inconvenientes diversos que se traduzem geralmente em piores condições de exploração da instalação, das quais se destacam:

- Aumento das perdas na rede

As perdas na rede são proporcionais ao quadrado da corrente (I) e não apenas à componente ativa da corrente (I_a). Quanto mais baixo o $\cos \phi$, maior a corrente para a mesma potência ativa, logo maiores perdas (Efeito de Joule).

- Redução da vida útil dos equipamentos

A ocorrência de sobrecargas frequentes provoca o aquecimento excessivo nos dispositivos de comando e proteção das redes elétricas, encurtando a sua duração e comprometendo a segurança das instalações.

- Penalizações tarifárias

Para satisfazer os pedidos de energia reativa, a empresa produtora (EP) tem de proceder a investimentos suplementares ao nível da produção e distribuição, que necessariamente se repercutem em condições tarifárias mais gravosas para os consumidores.

-
- Substituição da capacidade instalada

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica de baixo fator de potência inviabiliza a sua plena utilização, condicionando futuras aplicações. A entrada em funcionamento de novos equipamentos pode implicar investimentos vultuosos, que seriam certamente evitáveis se o fator de potência apresentasse valores suficientemente altos para reduzir significativamente o pedido de energia reativa à rede. Os investimentos referidos reportam-se normalmente às seguintes situações:

I. Aparelhagem Sobredimensionada

Toda a aparelhagem de comando, proteção e controlo.

II. Cabos de maior secção

Para transportar a mesma potência ativa com o menor nível de perdas nos condutores, a secção destes tem de aumentar na proporção apresentada na tabela 2-3:

Tabela 2-3 – Relação entre $\cos \varphi$ e secção dos condutores

Secção Relativa	Fator de Potência
1.0	1.00
1.23	0.90
1.56	0.80
2.04	0.70
2.78	0.60
4.0	0.50
6.25	0.40
11.1	0.30

De acordo com a tabela 2-3 verifica-se que para um fator de potência à volta de 0.7, situação comum em muitas instalações industriais, a secção dos condutores necessita de ser o dobro da necessária quando comparada com a secção para um fator de potência unitário. [1]

2.3.2 Compensação do fator de potência

A compensação do fator de potência conduz a uma dupla redução com reflexos na fatura de energia elétrica, uma devido à diminuição das perdas de energia ativa, e a outra resultante da redução significativa da energia reativa.

A forma de limitar ou evitar o consumo de energia reativa da rede, consiste em produzi-la dentro da própria instalação utilizando equipamentos adequados a esse fim, os *condensadores*.

Como se pode verificar através da figura 2-9 tudo se passa como se a origem da energia reativa, imprescindível ao funcionamento dos recetores, fosse desviada da rede de abastecimento para uma fonte interna, neste caso, bateria de condensadores.

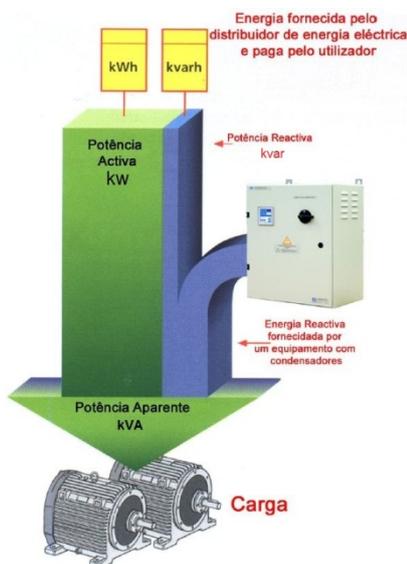


Figura 2-9 Representação de cargas numa instalação compensada [5]

Na realidade os condensadores ao compensarem a energia reativa que os motores necessitam para poderem trabalhar estabelecem um equilíbrio semelhante aos pratos de uma balança.

Quando a laboração para ou diminui de intensidade, se os condensadores não forem desligados, a situação de desequilíbrio inverte-se, aparecendo como que uma 'injeção' de energia reativa na rede. Para manter o equilíbrio há que retirar também os condensadores de funcionamento, isto é, desligá-los.

O tarifário penaliza também esta "injeção" de energia reativa por poder provocar aumentos indesejados na tensão da rede.

Isto implica que entre os condensadores e a rede elétrica da instalação se deve instalar equipamento de controlo dos condensadores. [1]

2.3.3 Como corrigir o fator de potência de uma instalação

O modo mais simples e económico de resolver o problema do baixo fator de potência de uma instalação elétrica é o de ligar condensadores em paralelo com a carga.

Os condensadores funcionam como geradores de energia reativa, fornecendo às máquinas elétricas toda a energia reativa necessária para manter o campo eletromagnético.

Na prática, os condensadores têm a propriedade de "absorver" uma intensidade que está em avanço de 90° relativamente à tensão, comportando-se como um verdadeiro gerador de energia reativa a qual se encontra em oposição à do fornecedor de energia elétrica.

Esta potência "fornecida" pelo condensador deixa de ser fornecida pela rede pelo que diminui a intensidade da corrente de entrada, melhora o $\cos \varphi$ e anula a penalização na fatura, do excedente de energia reativa consumida.

Pelo diagrama da figura 2-10 verificamos, por exemplo, que uma máquina ou um quadro elétrico que esteja com $\cos \varphi = 0,7$, a intensidade de corrente absorvida pela instalação é 43 % superior à intensidade que seria necessária com o $\cos \varphi = 1$. [6]

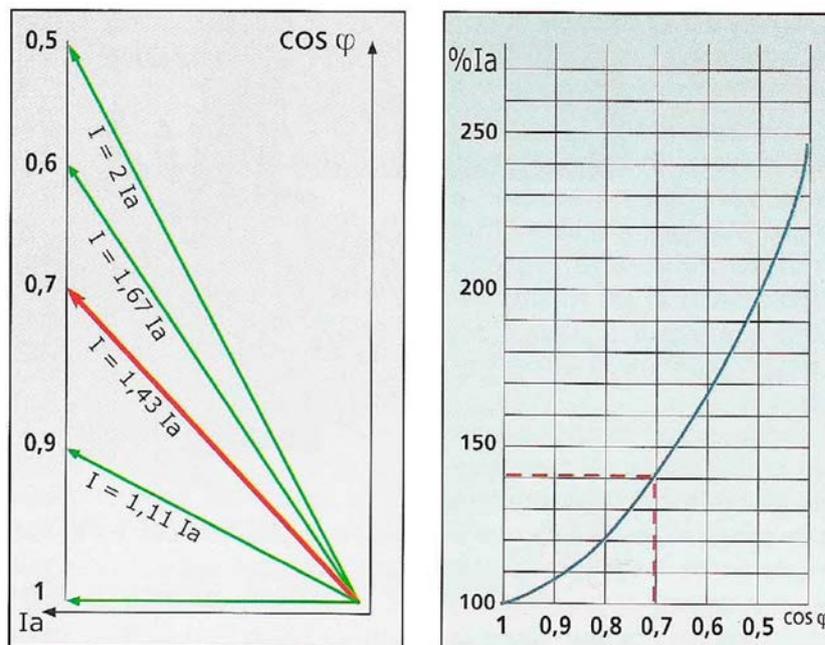


Figura 2-10 Relação entre a corrente e o $\cos \varphi$ [6]

2.3.4 Cálculo da Potência de Compensação

O $\cos \varphi$ médio de uma instalação a corrigir é um parâmetro fundamental para calcular a potência do equipamento automático de correção do $\cos \varphi$ a instalar.

O valor do $\cos \varphi$ pode ser obtido através de medições na instalação ou por cálculos aproximados.

O método mais simples consiste em calcular a média dos últimos 12 meses dos valores do $\cos \varphi$ indicados nas faturas do fornecedor de energia. Se este valor não estiver disponível, será suficiente aplicar a fórmula a seguir indicada, a qual permite encontrar o $\cos \varphi$ conhecendo o consumo de energia ativa (kWh) e o consumo de energia reativa (kvarh). [6]

Estes valores estão sempre disponíveis na fatura.

$$\cos \varphi = \frac{\text{Energia Activa}}{\sqrt{(\text{Energia Activa})^2 + (\text{Energia Reactiva})^2}}$$

Em que:

Energia Ativa = Energia Ativa (Horas Cheias + Ponta + Vazio + Super Vazio)

Considere-se uma instalação que absorve uma potência aparente **S₁**, para alimentar uma potência ativa de carga **P₁**. O fator de potência da instalação será:

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

A potência reativa é obtida através de :

$$Q_1 = P_1 \times \operatorname{tg} \varphi_1$$

Se pretendermos compensar o fator de potência para um valor superior ($\cos \varphi_2$), a potência reactiva correspondente a essa nova situação será:

$$Q_2 = P_1 \times \operatorname{tg} \varphi_2$$

A diferença entre os dois valores será exatamente igual à potência que a fonte de energia reativa (bateria de condensadores) terá que fornecer ao sistema.

Designando esta potência por Q_c , virá:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \times (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

Em que:

Q_c = Potência da Bateria de Condensadores a instalar

P_1 = Potência ativa média da Instalação ou potência tomada

Consultando a tabela 2-4, pode-se calcular facilmente a potência dos condensadores ou do equipamento necessário para corrigir a instalação.

Em correspondência ao valor do $\cos \varphi$ médio inicial da instalação e do valor do $\cos \varphi$ final após a correção, encontramos um coeficiente (F), o qual multiplicado pela potência ativa média da instalação em kW, dá-nos o valor da potência dos condensadores em kvar.

$$Q_c = F \times P_1$$

Qc = Potência da Bateria de Condensadores a instalar

P₁ = Potência ativa média da Instalação ou potência tomada

F = coeficiente retirado da tabela 2-4

Tabela 2-4 – Coeficiente (F) – Correlação entre cos φ inicial e pretendido de uma instalação [4]

Antes da compensação		Factor "F" a multiplicar pela Potência activa média da instalação para encontrar a Potência da Bateria de condensadores a instalar													
tg φ	Cos φ	tg φ	0,75	0,59	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25	0,2	0,14	0
		Cos φ	0,8	0,86	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,541	1,698	1,807	1,836	1,865	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
2,22	0,40		1,475	1,631	1,740	1,769	1,799	1,829	1,862	1,896	1,933	1,974	2,022	2,082	2,225
2,16	0,42		1,411	1,567	1,676	1,705	1,735	1,766	1,798	1,832	1,869	1,910	1,958	2,018	2,161
2,10	0,43		1,350	1,506	1,615	1,644	1,674	1,704	1,737	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
2,04	0,44		1,291	1,448	1,557	1,585	1,615	1,646	1,678	1,712	1,749	1,790	1,838	1,898	2,041
1,98	0,45		1,235	1,391	1,500	1,529	1,559	1,589	1,622	1,656	1,693	1,734	1,781	1,842	1,985
1,93	0,46		1,180	1,337	1,446	1,475	1,504	1,535	1,567	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
1,88	0,47		1,128	1,285	1,394	1,422	1,452	1,483	1,515	1,549	1,586	1,627	1,675	1,736	1,878
1,83	0,48		1,078	1,234	1,343	1,372	1,402	1,432	1,465	1,499	1,536	1,577	1,625	1,685	1,828
1,78	0,49		1,029	1,186	1,295	1,323	1,353	1,384	1,416	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
1,73	0,50		0,982	1,139	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,937	1,093	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
1,64	0,52		0,893	1,049	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392		1,500	1,643
1,60	0,53		0,850	1,007	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,965	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,52	0,55		0,768	0,925	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
1,48	0,56		0,729	0,886	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,44	0,57		0,691	0,848	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
1,40	0,58		0,655	0,811	0,920	0,949	0,969	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,37	0,59		0,618	0,775	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,583	0,740	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,30	0,61		0,549	0,706	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,672	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,639	0,748	0,777	0,807	0,837	0,873	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64		0,451	0,607	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,17	0,65		0,419	0,672	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66		0,388	0,639	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,607	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,328	0,576	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,788	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69		0,299	0,545	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,515	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,485	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,96	0,72		0,214	0,456	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,94	0,73		0,186	0,427	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,398	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,88	0,75		0,132	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,86	0,76		0,105	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,80	0,78		0,052	0,289	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,78	0,79		0,026	0,262	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,75	0,80			0,235	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,72	0,81			0,209	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,70	0,82			0,183	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,67	0,83			0,157	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,65	0,84			0,131	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,62	0,85			0,105	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,59	0,86			0,079	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,56	0,87			0,053	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,53	0,88			0,029	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,51	0,89				0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,48	0,90					0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484

2.3.5 Formas de compensação

Os condensadores podem ser instalados em qualquer ponto da rede elétrica que possua máquinas elétricas com baixo fator de potência, porém, o local exato deverá ser devidamente ponderado em função de razões técnicas e razões económicas.

Os condensadores só podem ser ligados à rede na presença de carga indutiva, de modo a evitar sobrecompensação, os quais podem dar origem a graves desequilíbrios na rede, tais como, perigosos aumentos de tensão, sobrecargas de intensidade na linha e nos aparelhos de distribuição.

Tendo em conta a localização dos condensadores, a compensação do fator de potência poderá ser efetuada de diversas maneiras:

- I. Individualmente
- II. Por grupos de recetores
- III. Globalmente
- IV. Combinada, utilizando conjuntamente os métodos anteriores

2.3.5.1 Compensação Individual

A compensação individual é efetuada ligando os condensadores junto ao equipamento (nível 3 da instalação) cujo fator de potência se pretende melhorar, sendo recomendado quando existem recetores de potência apreciável face à potência total da instalação, conforme exemplificado na figura 2-11.

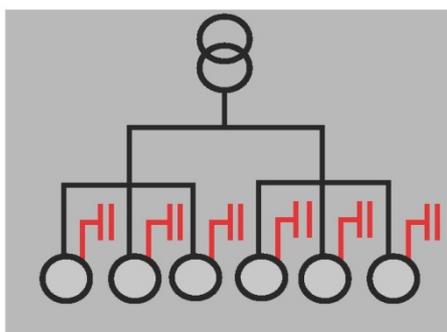


Figura 2-11 Exemplo de compensação individual [4]

Esta solução representa, do ponto de vista técnico a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- Reduz as perdas energéticas em toda a instalação, diminuindo os encargos com a energia elétrica.
- Diminui a carga sobre os circuitos de alimentação dos equipamentos compensados.

- Melhora os níveis de tensão em toda a instalação.

No, entanto apresenta as seguintes desvantagens:

- As despesas de instalação são maiores do que nas outras opções.
- É difícil ajustar a potência de compensação de qualquer equipamento para as potências normalmente disponíveis no mercado.

2.3.5.2 Compensação por Grupos Recetores

A bateria de condensadores é instalada de forma a compensar um sector, ou um conjunto de máquinas. É colocada junto ao quadro parcial que alimenta esses recetores (nível 2 da instalação) conforme figura 2-12.

A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, o que torna a instalação mais económica.

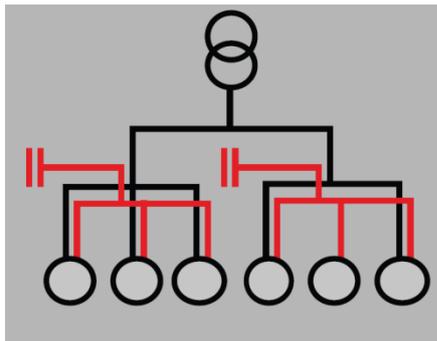


Figura 2-12 Exemplo de compensação por grupo [4]

Este modo de compensação é interessante quando os vários sectores da instalação apresentam regimes de carga algo diferenciados.

Vantagens:

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

Desvantagens

- A corrente reativa (I_r) está presente na instalação desde o nível 2 (quadros parciais) até aos recetores.

2.3.5.3 Compensação Geral

A bateria de condensadores é instalada no Quadro Geral, figura 2-13.

Utiliza-se em grandes instalações elétricas, com um grande número de recetores de potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes.

Este equipamento, dotado de um sofisticado sistema a microprocessador, gere a potência reativa dos condensadores (dividida em diversos escalões) segundo o andamento da carga, para obter, em cada momento, uma perfeita correção do fator de potência.

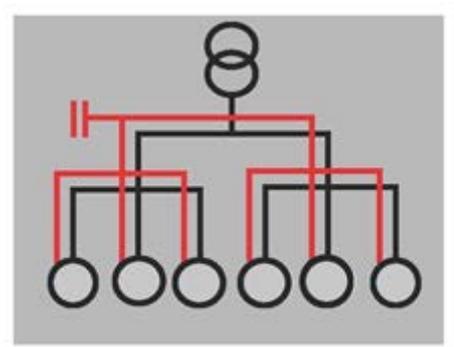


Figura 2-13 Exemplo de compensação geral [4]

Terminada a atividade da carga (fim da laboração ou de algum equipamento) o equipamento desliga os escalões ainda em serviço e aguarda um novo ciclo de trabalho.

Esta solução designada por correção centralizada, é a mais económica, mas, geralmente considerada tecnicamente a menos correta devido as desvantagens a seguir descritas.

Vantagens:

- Boa adaptação dos escalões de compensação à potência reativa necessária (isto caso se use uma compensação automática), conseguindo-se assim manter o fator de potência sempre próximo de 1.
- A bateria estará em funcionamento de forma permanente, ou quase permanente, durante o funcionamento normal da instalação. Assim, o elevado número de horas de funcionamento da bateria, garante uma boa rentabilidade do investimento feito na aquisição da mesma.

Desvantagens

- A corrente reativa (I_r) está presente na instalação desde o nível 1 (Quadro Geral) até aos recetores.
- As perdas por efeito de Joule nos cabos não são diminuídas

2.3.5.4 Compensação Combinada

Em muitos casos, utilizam-se conjuntamente os diversos tipos de compensação.

- Corrigindo pontualmente os motores de maior potência, atuando, preferencialmente, nos quadros elétricos que os alimentam.

-
- Corrigindo os quadros parciais de maiores cargas e/ou os quadros mais distantes, e os mais subdimensionados relativamente aos cabos que os alimentam.
 - Correção no quadro geral para ajuste final do $\cos \phi$.

2.3.6 Compensação Automática

Como já foi referido anteriormente pode ser instalada uma compensação automática para a correção do fator de potência.

Um equipamento de compensação automática deve ser capaz de se adequar às variações de potência reativa da instalação, para conseguir manter o $\cos \phi$ objetivo da instalação.

Um equipamento de compensação automática é constituído por 3 elementos principais:

- O Relé varimétrico, cuja função é medir o $\cos \phi$ da instalação e dar ordem aos contactores para tentar aproximar-se o mais possível do $\cos \phi$ objetivo, ligando os diferentes escalões de potência reativa.
- Os Contactores que são os elementos encarregados de ligar os diferentes condensadores que configuram a bateria.
- Os condensadores que fornecem a energia reativa à instalação. Normalmente a ligação interna dos mesmos é feita em triângulo.

Para o funcionamento de um equipamento de compensação automático é necessária a recolha de dados da instalação; são os elementos externos que lhe permitem operar corretamente o equipamento:

- Leitura da intensidade de corrente - Deve ligar-se um transformador de intensidade de corrente que leia o consumo da totalidade da instalação.
- A leitura da tensão - Normalmente é incorporada na própria bateria, de forma que ao ser efetuada a ligação da mesma, já se obtém este valor.

Esta informação da instalação (tensão e intensidade de corrente) permite ao relé varimétrico efetuar o cálculo do $\cos \phi$ existente na instalação em qualquer momento e capacita-o para tomar a decisão de introduzir ou tirar escalões de potência reativa. [4]

2.3.7 Conceito de Parametrização

Os 3 dados que definem uma bateria automática de condensadores são os seguintes:

- A potência em kvar, que será dada pelos cálculos a realizar e que dependerá do $\cos \phi$ final que se deseja ter na instalação.
- A tensão nominal, que deverá ser sempre maior ou igual à tensão da rede.
- A regulação da bateria, que indicará o escalonamento físico da mesma.

2.3.7.1 A Parametrização física

O escalonamento de uma bateria automática indica a composição e o número de conjuntos (de escalões) condensador-contactador que a formam.

Normalmente expressa-se apenas como a relação da potência do primeiro escalão com os restantes escalões.

Exemplo:

Bateria de 70 kvar, Composta pelos seguintes escalões de potências:

10 + 20 + 20 + 20, tem uma regulação 1.2.2, já que o primeiro escalão tem metade da potência dos restantes escalões.

Outra bateria de 70 kvar formada pelos seguintes escalões de potências: 7 escalões de 10 kvar, teria uma regulação 1.1.1.

Observe-se na figura 2-14, a atuação de duas baterias de parametrização 1.1.1 e 1.2.2. como as do exemplo.

A adaptação à necessidade de energia reativa das duas baterias vai ser exatamente a mesma apesar de terem duas parametrizações distintas.

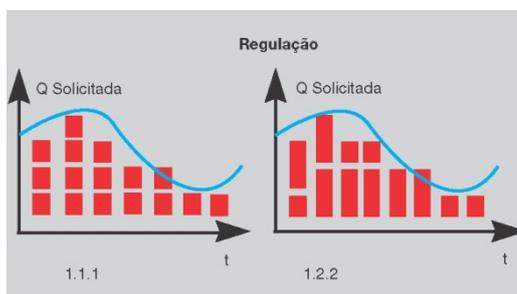


Figura 2-14 Exemplos de parametrizações [4]

2.3.7.2 Parametrização elétrica

Na realidade, o dado que marca a diferença de atuação de uma bateria é a parametrização elétrica.

No exemplo anterior, a regulação elétrica de ambas as baterias é a mesma (7 x10), o que indica que ambas as baterias vão operar com uma parametrização mínima de 10 kvar.

Do ponto de vista do preço do equipamento, quanto mais escalões físicos tem a bateria maior é o seu valor, já que aumenta o número de conjuntos contactador condensador, escalões e o tamanho do invólucro do equipamento.

Do ponto de vista da adaptação ao $\cos \phi$ objetivo, quanto menor for a parametrização elétrica, melhor se poderá adaptar às variações da necessidade de energia reativa da instalação.

Portanto, numa bateria bem selecionada deve existir um equilíbrio entre a parametrização elétrica e física.

Podemos afirmar então que um fator de potência elevado otimiza os componentes de uma instalação elétrica, melhorando o seu rendimento elétrico.

A instalação de condensadores reduz o consumo de energia reativa entre a fonte e os recetores.

Os condensadores proporcionam a energia reativa descarregando para a instalação desde o seu ponto de ligação para montante.

A compensação da potência reativa através da utilização de baterias de condensadores é rentável para o utilizador, apresentando o equipamento de compensação um período de recuperação do investimento efetuado relativamente curto.

Como consequência, é possível aumentar a potência disponível.

A compensação do fator de potência permite também outros benefícios, tais como:

- Redução da secção dos condutores e equipamentos de proteção.
- A instalação de um equipamento de correção do fator de potência de uma instalação permite reduzir a secção dos condutores a nível de projeto, já que para uma mesma potência ativa, a intensidade resultante da instalação compensada é menor.
- Diminuição das Perdas
- A instalação de condensadores permite a redução das perdas por efeito de Joule (aquecimento) nos condutores e transformadores.
- Estas perdas são contabilizadas como energia consumida (kWh), no contador. As ditas perdas são proporcionais à intensidade elevada ao quadrado.
- Redução da queda de tensão
- A instalação de condensadores permite a redução das quedas de tensão a montante do ponto de ligação do equipamento de compensação.
- Redução do valor da fatura
- Com a carga corrigida, a energia reativa é absorvida dos condensadores e não da rede, sendo que além de não se pagar a energia reativa, também poderá ser possível reduzir o valor da potência contratada.

2.4 Harmónicas

A presença de harmónicas é sinónimo da existência de um múltiplo da frequência fundamental na onda de tensão ou de corrente.

A deformação da onda de tensão ou de corrente significa que a distribuição de energia elétrica é perturbada e que a Qualidade de Energia não é ótima.

Em sistemas elétricos denominam-se por harmônicas as ondas de tensão ou intensidade de corrente cuja frequência é várias vezes superior à frequência fundamental da rede (50 Hz). Geralmente apresentam-se simultaneamente várias ondas de diferentes ordens de harmônicas constituindo um espectro e dando como resultado uma onda distorcida. Na figura 2-15 observa-se a decomposição de uma onda distorcida numa onda sinusoidal à frequência fundamental (50 Hz) e outras ondas as frequências distintas.

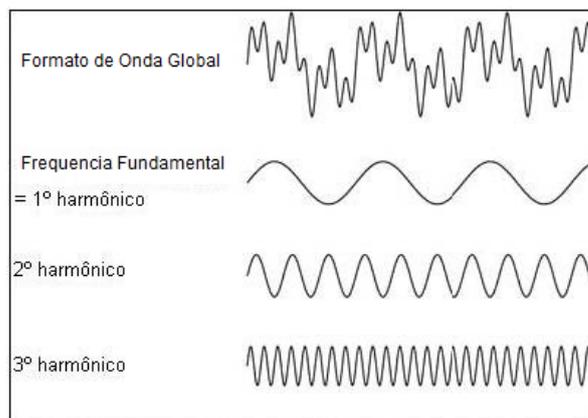


Figura 2-15 Decomposição de uma onda

As harmônicas são habitualmente definidas por duas características mais importantes, nomeadamente:

- A sua amplitude - Faz referência ao valor da tensão ou intensidade de corrente da harmónica.
- A sua ordem - Faz referência ao valor da sua frequência em relação à fundamental (50 Hz).

Assim, uma harmónica de ordem 5 tem uma frequência 5 vezes superior à fundamental, ou seja $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$.

O valor eficaz de uma onda distorcida obtém-se calculando a raiz quadrada da soma dos quadrados dos diferentes valores da onda para todas as ordens de harmónicas existentes na dita onda:

Valor eficaz de I:

$$I (A) = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

Deste cálculo se deduz que o valor eficaz de todas as componentes harmónicas é o seguinte:

$$I_h (A) = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$$

Este cálculo permite deduzir um dos principais efeitos das harmónicas, que é o aumento da intensidade eficaz que atravessa uma instalação devido às componentes harmónicas que levam associada uma onda distorcida.

Habitualmente, a definição da aparelhagem e dos cabos ou canalizações da instalação é efetuada a partir da intensidade de corrente nominal à frequência fundamental, pelo que todos estes componentes da instalação não estão concebidos para suportar todo o excesso de intensidade de corrente harmónica.

Para detetar os possíveis problemas de harmónicas que possam existir nas instalações, é necessário utilizar equipamentos de medida de valor eficaz real, já que os equipamentos de valor médio apenas proporcionam medidas corretas caso as ondas sejam perfeitamente sinusoidais. [4]

2.4.1 Origem das harmónicas

As correntes harmónicas são geradas pelas cargas não-lineares conectadas à rede. A circulação das correntes harmónicas geram tensões harmónicas através das impedâncias da rede, e então uma deformação da onda de tensão de alimentação.

No passado predominavam cargas lineares com valores de impedância fixa (iluminação incandescente, cargas de aquecimento, motores sem controle de velocidade).

Atualmente surgiram cargas não-lineares geradoras de poluição eléctrica (harmónicas).

Os dispositivos geradores de harmónicas são apresentados em todos os setores industriais, comerciais e domésticos. As harmónicas são resultados de cargas não-lineares.

Uma carga é dita não-linear quando a corrente que ela absorve não tem a mesma forma da tensão que a alimenta.

Tipicamente, as cargas utilizando a eletrónica de potência são não-lineares.

As cargas não lineares são cada vez mais numerosas e sua contribuição no consumo de energia cresce sem cessar.

Como exemplo, podem-se citar:

- Os equipamentos industriais (máquinas de solda, variadores de velocidade, retificadores, conversores...);
- Os inversores de frequência para motores assíncronos ou motores em corrente contínua;
- Os equipamentos de escritório (computadores, máquinas copiadoras, fax,...);
- Os aparelhos domésticos (TV, forno micro-ondas, iluminação néon,...).

A tensão harmónica é causada pela circulação da corrente harmónica nas impedâncias dos circuitos de alimentação (conjunto transformador e rede).

O fenómeno das harmónicas era pouco considerado pois seus efeitos sobre as redes eram geralmente pouco importantes. Mas a chegada da eletrónica de potência nos recetores tem amplificado fortemente o fenómeno em todos os setores da atividade. [7]

2.4.2 Principais harmónicas medir e combater

As harmónicas frequentemente encontradas nos casos de redes trifásicas, na prática as mais incómodas, são as harmónicas de ordens ímpares.

Além da ordem 50, as correntes harmónicas são desprezíveis e sua medição não é mais significativa. Assim, uma boa precisão da medição é obtida considerando as harmónicas até à ordem 30.

Os distribuidores de energia supervisionam as harmónicas de ordem 3, 5, 7, 9, 11 e 13.

Assim, a compensação das harmónicas até à ordem 13 é imperativa.

2.4.3 Taxa de distorção harmónica (THD)

THD corresponde à Total Harmonic Distortion (taxa de distorção harmónica total).

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

Para um sinal y , a taxa de distorção harmónica THD é definida pela fórmula:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Y_h^2}}{Y_1}$$

A taxa de distorção harmónica é geralmente expressa em percentagem.

Quando se refere a harmónicas de corrente, a expressão é a seguinte:

$$TDH_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Quando se refere a harmónicas de tensão, a expressão é a seguinte:

$$TDH_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} u_h^2}}{u_1}$$

O THD em corrente caracteriza a deformação da onda de corrente.

A procura do poluidor realiza-se medindo o THD em corrente na entrada e em cada uma das saídas de diferentes circuitos, afim de se orientar em direção ao perturbador.

Um valor de THDi inferior a 10% é considerado como normal. Não é presumível que haja mal funcionamento.

Um valor de THDi compreendido entre 10 e 50% revela uma poluição harmónica significativa.

Existe risco de aquecimento, que implica o sobredimensionamento dos cabos e das fontes.

Um valor de THDi superior a 50% revela uma poluição harmónica considerável. O mau funcionamento de alguns equipamentos poderá ocorrer. Será necessário realizar uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação.

O THD em tensão caracteriza a deformação da onda em tensão.

Um valor de THDu inferior à 5% é considerado como normal. Não é presumível que haja mau funcionamento.

Um valor de THDu compreendido entre 5 e 8% revela uma poluição harmónica significativa. Poderá ocorrer algum mau funcionamento nos equipamentos.

Um valor de THDu superior a 8% revela uma poluição harmónica considerável. O mau funcionamento de alguns equipamentos poderá ocorrer. Será necessário realizar uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de filtragem. [7]

2.4.4 Impacto económico

Do mesmo modo que um fator de potência baixo, as harmónicas numa instalação, quando a níveis elevados podem acarretar custos desnecessários, deste modo temos:

Perdas energéticas

As perdas por efeito Joule induzidas pelas correntes harmónicas nos condutores e equipamentos dão origem a perdas energéticas suplementares.

Custo adicional da contratação da potência

Devido à presença de corrente harmónica, é necessário aumentar o nível de potência necessária, e o custo adicional de contratação potência disponibilizada pelo distribuidor.

Sobredimensionamento dos materiais

Os condutores devem ser dimensionados de maneira a permitir a circulação das correntes harmónicas. Como as frequências dessas harmónicas são mais elevadas que a da fundamental, as impedâncias vistas por estas correntes são mais elevadas, para evitar perdas por efeito Joule importantes é necessário sobredimensionar os condutores.

Devido à circulação de harmónicas no condutor de neutro é necessário fazer o seu sobredimensionamento.

Redução da vida dos materiais

Quando a tensão da alimentação apresenta uma taxa de distorção próximo de 10%, a duração da vida dos aparelhos é reduzida (máquinas, transformadores, etc.).

Para conservar a duração de vida correspondendo a carga nominal implica sobredimensionar os aparelhos de corte e proteção.

Disparos intempestivos e cortes na alimentação da instalação

Os disjuntores de uma instalação são sujeitos a picos de correntes causadas por harmônicas. Estes picos de corrente provocam disparos intempestivos, e induzem perdas de produções assim como custos ligados ao tempo de paragem e reposição de funcionamento da instalação. [7]

Estes custos de material, perdas energéticas e perda de produtividade originam uma baixa competitividade das empresas.

2.4.5 Soluções para a compensação de harmónicas

Nos últimos anos com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência, e a utilização de métodos que buscam o uso mais racional da energia elétrica, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem-se elevado, causando um serie de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica

Deste modo, na altura de compensar a energia reativa numa instalação não só devemos ter presente os dados "clássicos", isto é a potência ativa, o $\cos \varphi$ inicial, o $\cos \varphi$ final, o regime de carga, etc., como também há que ter em conta a presença de possíveis recetores que possam contaminar a instalação com harmónicas: variadores de velocidade, retificadores, fornos de arco eléctrico, lâmpadas fluorescentes, etc.

Quando a presença das harmónicas não atinge níveis preocupantes, poderão ser tomadas medidas de adaptação da instalação como:

- Posicionar as cargas poluentes a montante da rede;
- Reagrupar as cargas poluentes;
- Separar as fontes.

Quando os valores de THD_I e THD_U ultrapassam os limites recomendados será necessário proceder a outro tipo de correções, como por exemplo a instalação de filtros.

Os filtros podem ser passivos, ativos ou híbridos, devendo ser escolhidos conforme a sua necessidade e tipo de instalação.

3. Instalações e processo produtivo

Neste capítulo será feita uma breve descrição das instalações onde se desenvolverá este trabalho, nomeadamente ETA de Miranda do Douro e bombas da captação do Rio Douro. Também serão descritas de forma sucinta o modo de produção/funcionamento das instalações.

É da responsabilidade do Município de Miranda do Douro a produção de água potável e a respetiva distribuição pelos diversos locais do concelho.

O Município dispõe de duas Estações de Tratamento de Águas, uma em Miranda do Douro e outra no Barrocal do Douro. Estas duas estações tratam a água para a grande maioria do Concelho, sendo ambas abastecidas por água bruta do Rio Douro.

Algumas localidades, não são abastecidas pelas estações referidas anteriormente devido à sua longa distância, de modo que, a produção e distribuição é feita localmente através de furos seguido de um tratamento/desinfecção da água e armazenamento que abastecem as localidades por gravidade.

3.1 Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro

A ETA de Miranda do Douro (figura 3-1), foi construída em 1960, e foi dimensionada para abastecer aproximadamente 750 habitantes, tendo sido intervencionada e ampliada no ano de 2006, sendo que hoje em dia serve uma população residente de mais de 3500 habitantes, distribuídos por Miranda do Douro, Malhadas, Póvoa, Palancar, Aldeia Nova, Vale d' Águia, Pena Branca, Quinta do Cordeiro, Vale de Mira, Cércio e Duas Igrejas.

Esta ETA, é abastecida com água bruta do Rio Douro, onde é sujeita a um tratamento e posteriormente distribuída para várias localidades e depósitos intermédios.



Figura 3-1 Estação de Tratamento de Águas de Miranda do Douro

No Anexo A pode-se ver a implantação da ETA sendo composta essencialmente por:

-
- Um depósito de água bruta utilizado apenas para rega e que não será tido em conta para este estudo;
 - Unidade de tratamento;
 - Depósito de água tratada;
 - Depósito de água das lavagens dos filtros que é reutilizada para abastecer a rega;
 - Antigas instalações da ETA inicialmente construída.

Na ETA é feito o tratamento da água bruta, ou seja, a potabilização da água, por forma a obedecer aos parâmetros definidos na legislação, relativa à qualidade das águas para consumo humano.

A ETA consegue tratar um caudal horário de 200 m³, e foi concebida de modo a maximizar a sua flexibilidade face à necessidade de intervenções pontuais para operações de manutenção.

Os equipamentos da ETA possuem, na sua generalidade, um tipo de montagem modular, permitindo o seu uso em duas linhas independentes, com uma capacidade nominal de 100 m³/h, cada.

O sistema de tratamento é composto pelos seguintes processos unitários:

- Pré-tratamento (Pré-desinfecção);
- Coagulação-Floculação;
- Decantação lamelar;
- Bombagem sob pressão;
- Filtração em areia;
- Desinfecção final.

A ETA possui os seguintes elementos:

- Dois módulos de mistura, coagulação-floculação e decantação lamelar;
- Um módulo intermédio, com tanque de armazenamento de água decantada, compartimento de dosagem de produtos químicos e compartimento de bombagem e controle;
- Conjunto de filtração constituído por dois filtros horizontais duplos de areia.

Para a potabilização da água bruta, é necessário efetuar os seguintes passos:

Pré-tratamento

O sistema de cloração utilizado inclui uma cloração à base de hipoclorito de sódio.

Coagulação-Floculação

O produto utilizado para este processo de coagulação – floculação é o sulfato de alumínio.

Tanque de armazenamento de água decantada

Este tanque tem uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 20 m³, onde se armazena a água decantada e clarificada e a partir daqui realiza-se a bombagem ao conjunto de filtração.

Bombagem sob pressão

Após a decantação, a água clarificada (decantada) é submetida a um processo de filtração. Esta “passagem” é efetuada mediante bombas de pressão para os filtros.

Filtração de areia

O sistema de filtração é constituído por um ou dois filtros de pressão, dependendo do caudal de água a tratar.

O material utilizado para levar a cabo a filtração corresponde a areia siliciosa de tamanho efetivo 0,9 mm e um coeficiente de uniformidade de 0,6. A altura do leito de areia nestes filtros é de 0,85-1 mm e pode corresponder a areia homogénea ou a areia de diferentes granulometrias.

Diariamente é necessário efetuar a lavagem dos filtros sendo esta, feita com água tratada.

Desinfeção final

Depois da filtração em areia, a água é submetida a um processo de desinfeção final, com o objetivo de eliminar qualquer microrganismo que possa estar presente na água destinada ao consumo público, evitando assim problemas de saúde à população abastecida.

O processo de desinfeção final é levado a cabo na tubagem de saída da água filtrada que leva água aos depósitos de água tratada. A instalação de cloração utilizada é a mesma que a correspondente ao sistema de pré-cloração.

3.1.1 Estação de Tratamento

Em linhas gerais o funcionamento atual da estação de tratamento (figura 3-2) é feito do seguinte modo:

O arranque e paragem do tratamento são controlados por 2 pares de sondas instalados no depósito de águas tratadas. Estas sondas estão instaladas em alturas ligeiramente diferentes,

de modo a não arrancarem as duas bombas em simultâneo conforme se pode verificar na figura 3-3.



Figura 3-2 Estação de Tratamento

Quando o nível de água do depósito de água tratada baixa até ao nível 2 (ver figura 3-3), são ligadas as bombas da captação (instalação junto ao Rio Douro, constituída por 3 bombas de 75 kW, mas que só trabalham 2 em simultâneo) que elevam a água bruta para o tratamento.

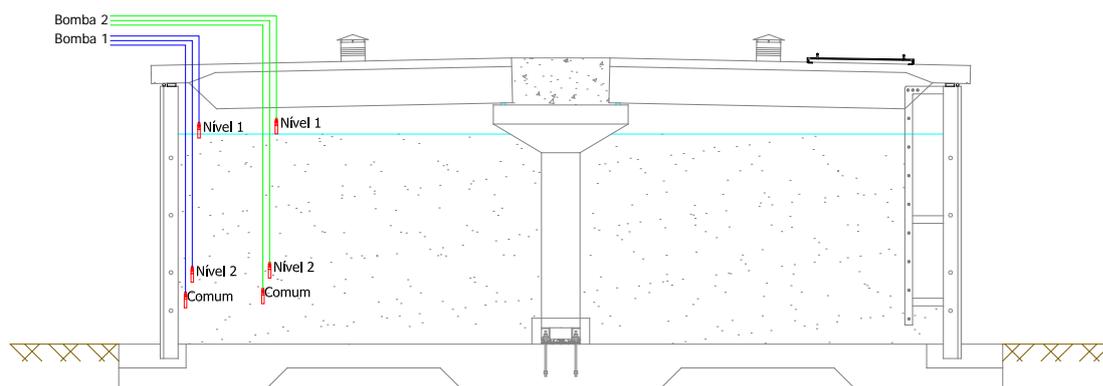


Figura 3-3 Esquema de sondas ETA

O tratamento de água (bombas 8 e 9 que trabalham em alternância – 45 kW – Anexo A) trabalham até atingir o nível máximo do depósito de água tratada (nível 1), parando e ficando à espera que se atinga o nível 2 para arrancar novamente, conforme exemplificado no fluxograma da figura 3-4.

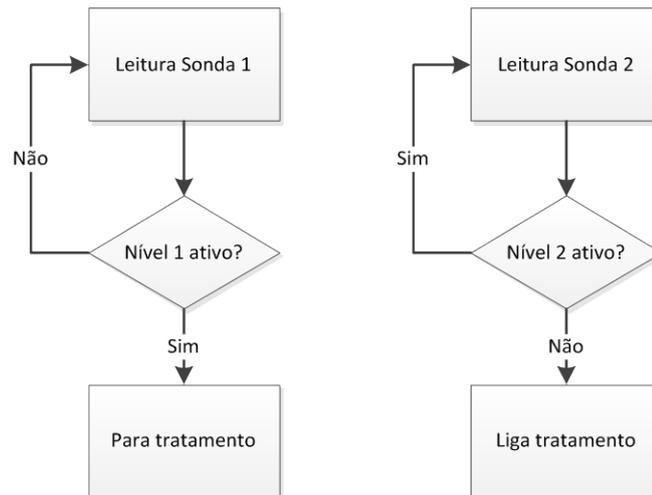


Figura 3-4 Esquema de funcionamento tratamento de águas

Atualmente o comando é feito a partir de sondas, relés e contactores, não existindo qualquer preocupação com o horário de funcionamento.

Este sistema em caso de falha de energia não garante o arranque faseado das bombas de elevação da captação, o que origina uma maior queda de tensão devido a corrente elevada no arranque nas bombas e todas as consequências daí resultantes.

As bombas do tratamento também trabalham em regra uma vez por dia para a lavagem dos filtros, sendo que esta operação é manual e demora em média 1 hora.

3.1.2 Bombas da Simona

Próximo da cidade, num ponto com mais altitude, existe o depósito da Simona (ver anexo B e figura 3-5), este depósito abastece toda a cidade de Miranda por gravidade (excepto o Centro Histórico que é abastecido por sistema de pressurização) e algumas aldeias (Palancar, Pena Branca).



Figura 3-5 Depósitos da Simona

Na figura 3-6 apresenta-se um esquema das sondas instaladas no depósito da Simona.

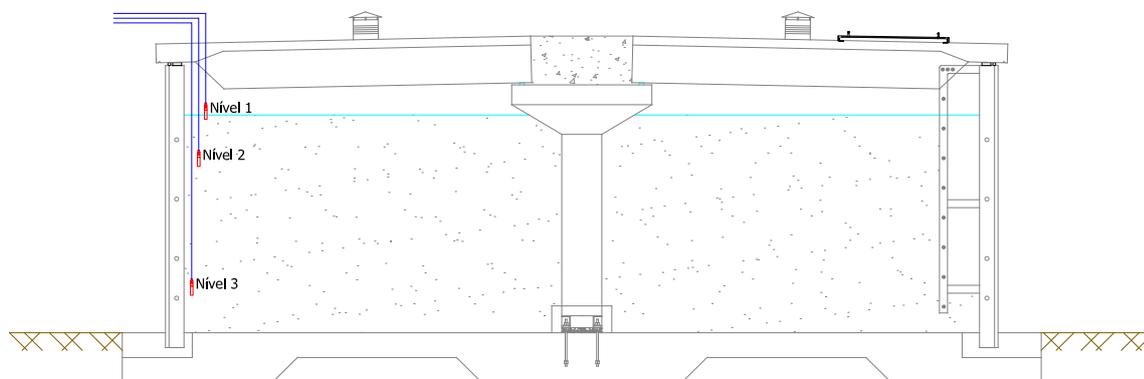


Figura 3-6 Esquema de sondas depósitos da Simona

As bombas que abastecem o depósito da Simona (bombas 1 e 2 que trabalham em alternância 45 kW, figura 3-7 e 3-8) arrancam com o “pedido” de água do depósito da Simona - nível 3 (figura 3-6) sinal que é transmitido via rádio para a ETA, e param quando atinge o nível 1, do mesmo modo que o tratamento de água referido anteriormente (o nível 2 serve apenas para informação do estado do depósito).

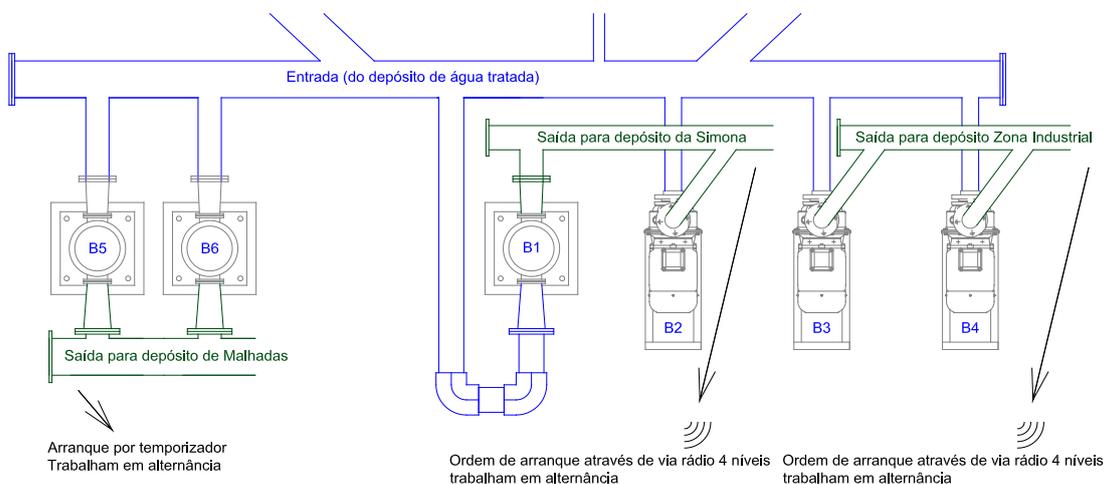


Figura 3-7 Localização das bombas de água tratada na ETA



Figura 3-8 Bombas da Simona e Zona Industrial

No comando destas bombas, também não é considerado o horário de funcionamento.

3.1.3 Bombas da Zona Industrial

Junto a Cidade de Miranda existe o depósito da Zona Industrial (tipo silo vertical, figura 3-9a e 3-9b), que abastece dois bairros mais afastados da Cidade por sistema de pressurização (Zona Industrial e Santa Luzia).

As bombas da Zona Industrial (ZI) (bombas 3 e 4, 55 kW e 37 kW – figura 3-7 e 3-8) trabalham em alternância, e arrancam com o “pedido” de água do depósito da ZI (nível 3) sinais que são transmitidos via rádio para a ETA e param quando atinge o nível 1, do mesmo modo que os depósitos da Simona.

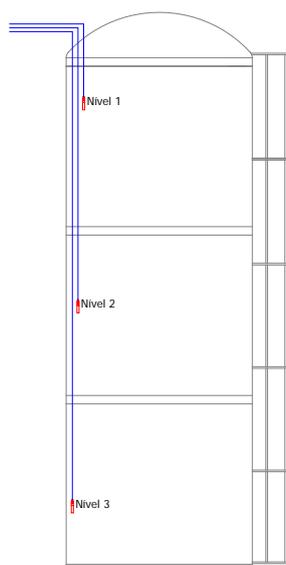


Figura 3-9a Esquema de sondas depósito da Zona Industrial



Figura 3-9b Depósito da Zona Industrial

No comando destas bombas, também não é considerado o horário de funcionamento.

3.1.4 Bombas de Malhadas

Já mais afastado da Cidade existe o depósito de Malhadas, que abastece por gravidade as aldeias de Malhadas, Duas Igrejas, Cércio e Vale de Mira.

As bombas de Malhadas (bombas 5 e 6, de 22 kW cada – figura 3-7 e 3-10) trabalham em alternância sendo o seu comando feito através de pressóstato e relé temporizador, do seguinte modo:

- Quando o depósito enche, uma boia fecha a conduta, criando assim uma pressão na mesma, por sua vez o pressóstato deteta a pressão e desliga as bombas.
- Depois de desligadas as bombas, entra em funcionamento o temporizador, e passado um tempo predeterminado (1 hora) as bombas ligam novamente, conforme fluxograma da figura 3-11.



Figura 3-10 Bombas de Malhadas

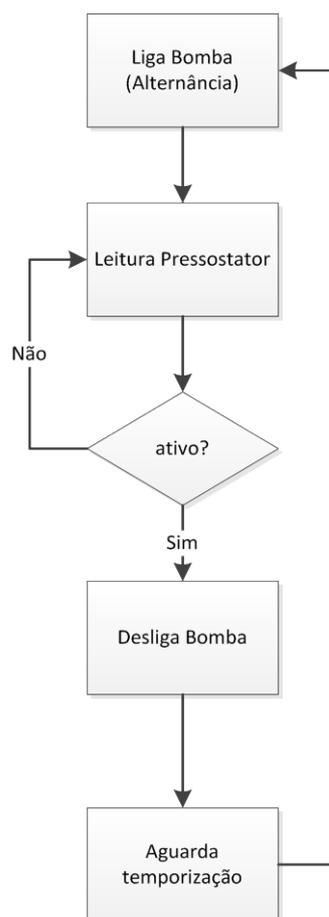


Figura 3-11 Esquema de funcionamento Bombagem Malhadas

Do modo que as anteriores, também não é tido em conta os horários de funcionamento.

3.1.5 Bombas do Centro Histórico

As bombas do Centro Histórico, figura 3-12, trabalham com o sistema de pressurização, em que se varia a velocidade de uma delas de modo a manter uma pressão constante na rede. Quando o consumo é superior e baixa pressão na rede até um valor pré-definido arranca uma segunda bomba em plena carga continuando a variar a velocidade da primeira bomba. Este sistema é controlado por um sensor de pressão.



Figura 3-12 Bombas do Centro Histórico

3.1.6 Bombas de Captação do Rio Douro

Estas instalações situam-se junto ao Rio Douro, e são compostas por 3 bombas de 75 kW comandadas por 3 arrancadores progressivos (figuras 3-13a e 3-13b).

As ordens de arranque e paragem são feitas pela estação de tratamento, pelo que já foi referido em 3.1.1.



Figura 3-12a Bombas Captação (interior da central)



Figura 3-12b Localização quaro de Comando

3.2 Perfil de consumo

Como se pode verificar pelo descrito anteriormente no tratamento e distribuição de água potável, não é tido em conta os horários de faturação da energia, ou seja, não existe a preocupação de tentar utilizar mais os horários em que a energia é mais barata e evitar o consumo nos horários que a energia é mais cara.

Os valores de consumo de energia ativa nos diversos períodos diários, conjugados com a análise do tipo de processo/laboração/organização, sugerem medidas destinadas a reduzir custos energéticos.

Na figura 3-14 pode-se observar um exemplo da distribuição dos consumos de energia ativa da ETA pelos quatro períodos horários diários, onde se pode concluir que a maior fatia da energia é consumida nos períodos mais caros (Pontas e Cheias).

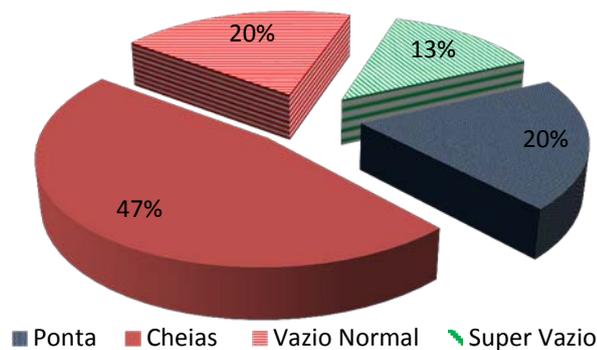


Figura 3-14 Repartição do consumo anual de energia ativa na ETA em função dos diferentes horários de faturação

A transposição para forma gráfica dos valores dos consumos das faturas de energia elétrica, ao longo de doze meses, constitui uma espécie de diagrama de cargas anual (figura 3-15). A sua evolução pode confirmar alterações significativas nas instalações ou no ritmo de laboração, ou ainda anomalias e irregularidades no processo de tratamento.

Neste caso, pode-se constatar que durante os meses de junho a outubro é quando existe um maior consumo, isto devido à maior utilização de água para vários fins (rega, emigrantes em férias que se encontram no concelho, restauração).

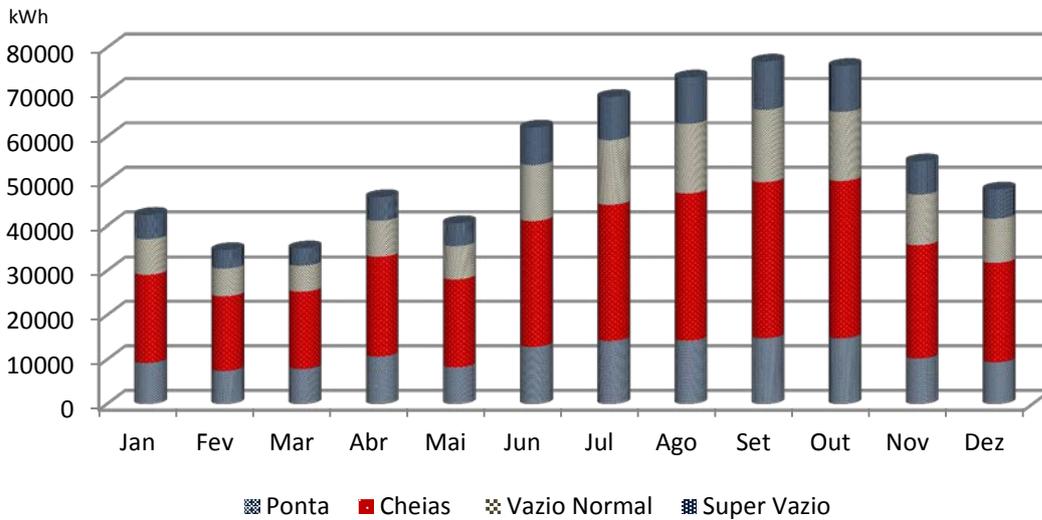


Figura 3-15 Repartição do consumo de energia ao longo do ano de 2011 (ETA)

Através do gráfico da figura 3-16, onde se apresenta os perfis de consumo de energia na ETA em dois dias diferentes, pode-se verificar que o consumo da ETA é muito irregular, não sendo possível estabelecer um consumo típico dessa instalação, pois o consumo de energia depende do consumo de água da população, e esta por sua vez varia com os seguintes fatores:

- Período do ano – na altura de verão é gasta muita mais água, pois além de ser um tempo quente e necessitar de mais água para rega de hortas e jardins, também a população nessa altura do ano é superior, principalmente no mês de agosto em que chegam de férias à cidade muitos emigrantes.
- No mês de agosto é quando Miranda recebe o maior número de turistas, o que leva a um maior consumos por parte da restauração e hotelaria.
- Tempo – também tem uma grande importância no consumo, pois como foi referido anteriormente no verão gasta-se mais água para a rega, no entanto nas outras estações quando não chove o consumo de água na rega também aumenta.
- Outro fator que influencia o consumo de energia são as avarias causadas por rompimentos/fugas em condutas, sendo que além do inconveniente da água desperdiçada devido à fuga, após a reparação da mesma existe um grande consumo, pois durante a reparação é fechado o fornecimento aos utentes.

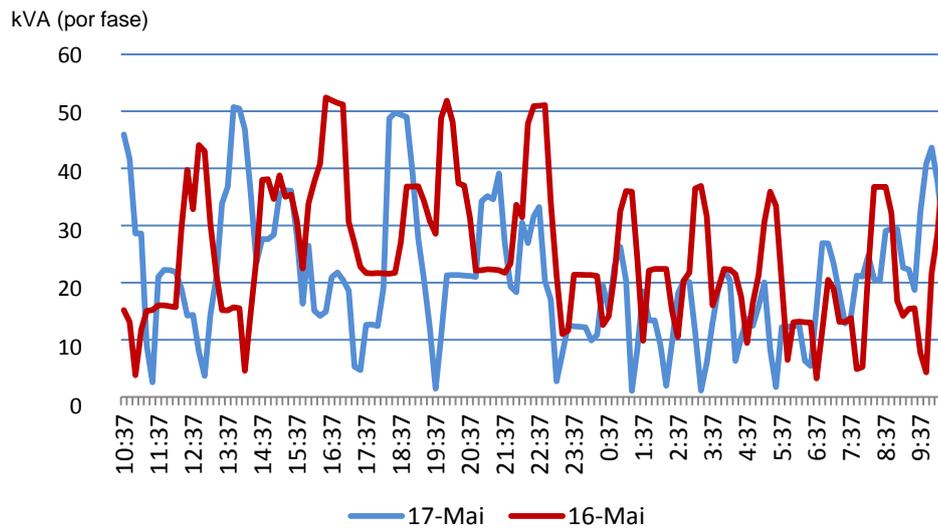


Figura 3-16 Perfis de consumo diário de energia (ETA)

Deste modo, não é possível estabelecer um horário de funcionamento rigoroso, uma vez que o tratamento de água e sua distribuição pelos consumidores depende de vários fatores, no entanto, pode-se tentar deslocar o período de funcionamento para horários em que a energia é mais barata, de modo a reduzir o valor da fatura elétrica sem colocar em causa o fornecimento de água. De seguida serão apresentadas algumas propostas de alterações a introduzir nos regimes de funcionamento dos equipamentos da ETA.

4. Soluções propostas

Após o conhecimento e estudo do regime de funcionamento, consumos, caudais e horário dos funcionários serão apresentadas as soluções para a redução do consumo de energia sem afetar o bom funcionamento das instalações e a qualidade de abastecimento de água aos consumidores, e que serão subdividas em 2 áreas:

- Solução ao nível de procedimentos/horários de tratamento/abastecimento dos depósitos.
- Solução ao nível de equipamentos.

4.1 Alteração nos procedimentos/horários de tratamento/abastecimento dos depósitos e consumidores

Neste ponto, apresentam-se algumas soluções de modo a alterar o método e horário de funcionamento da ETA e das estações elevatórias.

4.1.1 Estação de tratamento

De modo a evitar-se ao máximo o consumo nas horas em que a energia é mais cara, a solução passa pela gestão dos níveis de água dos depósitos e horário de funcionamento da unidade de tratamento.

Atendendo ao facto de que os depósitos conseguem durante 3 horas abastecer as localidades sem terem de ligar novamente o tratamento (informação obtida através dos operadores da ETA) e de que as horas de ponta nunca são superiores a duas horas e meia, é possível realizar a deslocação do consumo e melhorar a gestão de custos.

Com a introdução de mais duas sondas no depósito de águas tratadas (figura 4-1) e a instalação de um autómato pode-se evitar ao máximo o consumo nas horas de ponta sem colocar em causa o abastecimento. No entanto, fica salvaguardada a situação de haver uma autonomia do depósito de abastecimento inferior a 3 horas, sendo ligado o tratamento quando atingir o nível 4 em qualquer horário.

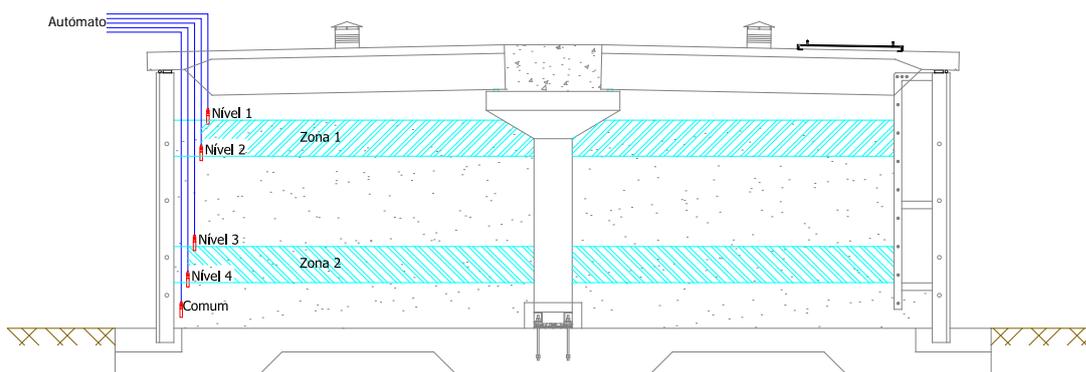


Figura 4-1 Esquema de sondas do depósito de águas tratadas (ETA)

A ideia passa por aproveitar o horário de vazio e super vazio colocando em funcionamento a unidade de tratamento quando o depósito descer ao nível 2, e desligar quando atinga o nível 1, ficando o depósito sempre com níveis de água dentro da zona 1.

Nas horas de ponta e cheia a unidade de tratamento só arranca caso o nível de água do depósito desça até ao nível 4, e para quando atingir o nível 3, ficando o depósito sempre com níveis de água dentro da zona 2, que serve como nível mínimo para abastecimento, evitando trabalhar desnecessariamente nas horas de ponta e cheias.

A seguir apresenta-se o horário de funcionamento do tratamento e os períodos horários de faturação (figura 4-2), sendo que em “a)” o tratamento deverá trabalhar dentro da zona 1, e em “b)” o tratamento deverá trabalhar na zona 2.

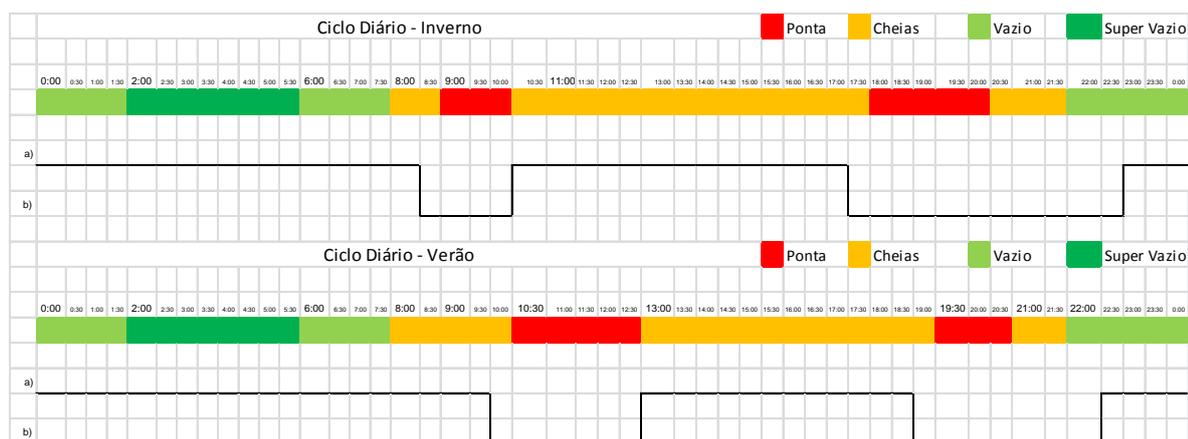


Figura 4-2 Horário de funcionamento do tratamento/periódos horários no ciclo diário de inverno/verão

A solução passa por efetuar toda a gestão através de um autômato, onde este receberá os níveis do depósito de água tratada, fará a gestão da mesma e dará ordens de arranque e paragens das bombas.

Este sistema, deverá ser instalado em paralelo com o atual sistema de controlo, e deverá ser instalado também, um seletor que permita comutar entre 3 situações distintas:

- a) Comando antigo
- b) Paragem
- c) Automático

Deste modo, em caso de avaria do autómato, poder-se-á seleccionar a opção “Comando antigo”, deixando assim a ETA em funcionamento enquanto é reparada a avaria do sistema de comando automático.

A seguir é apresentado um fluxograma simplificado do método de funcionamento proposto (figura 4-3), com 2 sondas adicionais em relação ao existente e um autómato.

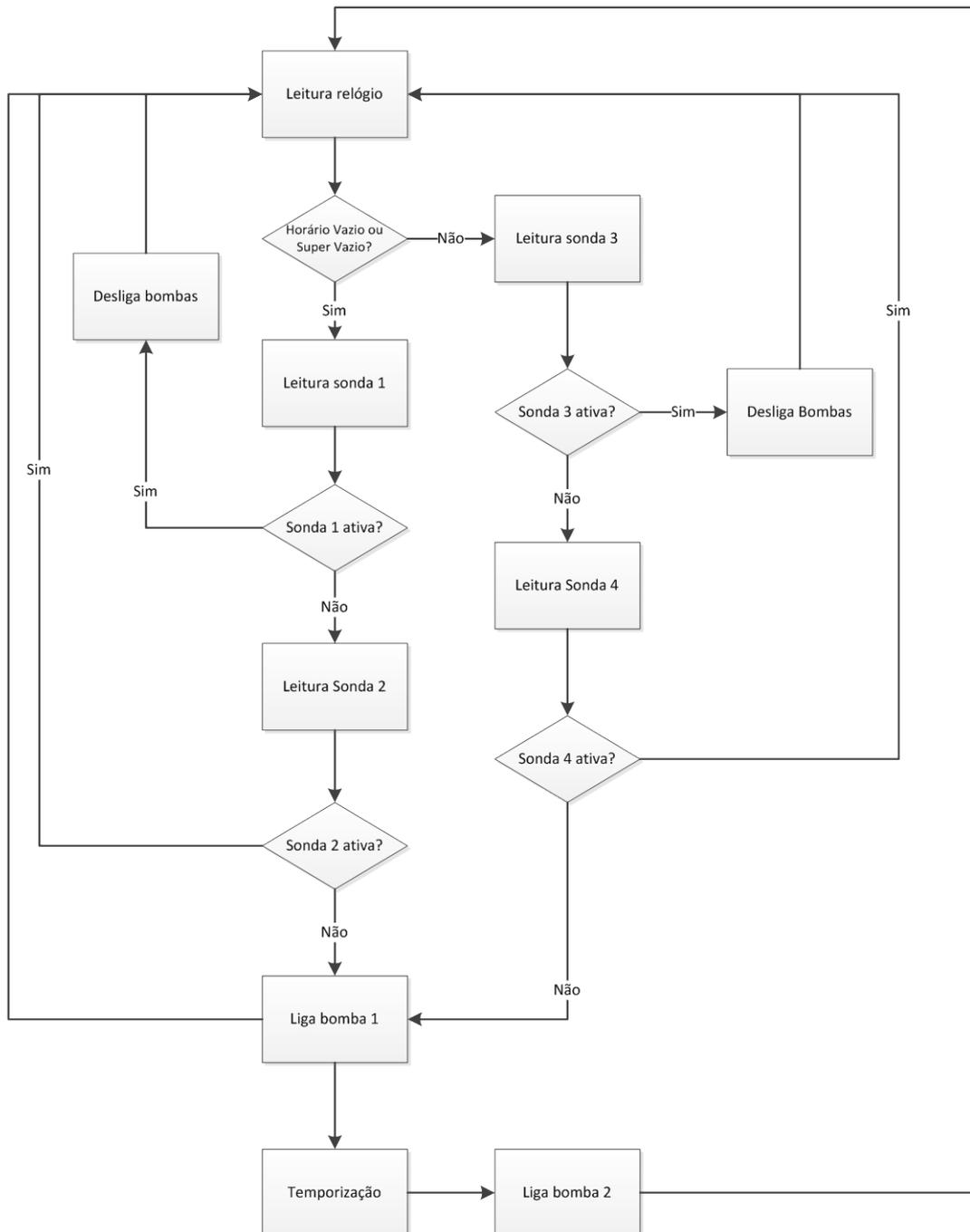


Figura 4-3 Fluxograma proposto do esquema de comando do tratamento

Seria possível a implementação no programa de comando das bombas da captação a alternância entre as 3 bombas, no entanto, isto não é proposto devido à diferença de caudal entre elas, o que implica uma alteração nas dosagens dos reagentes para o tratamento da água, sendo que esta alteração é feita manualmente.

Esta solução, permite além da deslocação dos consumos das bombas no processo de tratamento, a deslocação dos consumos das bombas da captação, uma vez que ambas (tratamento e captação) trabalham em simultâneo.

No caso de falha de energia, este novo método de funcionamento não permitirá que as bombas da captação arranquem em simultâneo, diminuindo as quedas de tensão devido à diminuição das correntes de arranque.

Não menos importante, será a sensibilização dos operadores da ETA para que não façam a lavagem dos filtros em horas de ponta, devendo estas, serem efetuadas em horas de vazio ou super vazio, no entanto devido ao horário de funcionamento das instalações e dos funcionários (das 9:00 as 17:30) será recomendado que estas sejam feitas em horas de cheias (as 11:00 da manhã em horário de inverno e as 13:00 em horário de verão).

Para a implementação desta solução será necessário instalar um autómato em um dos quadros elétricos existentes no edifício de “Armazenamento e Distribuição”, novas sondas no depósito de água tratada, ligação entre o sinal das sondas e o autómato e a ligação entre o autómato e o circuito de comando das bombas.

Os custos relativos à mão-de-obra não serão contabilizados, uma vez que a mesma pode ser executada pelos técnicos do Município.

Deste modo será necessário:

- 1 Autómato 12 entradas 12 saídas + fonte de alimentação 500,00€
- 4 Sondas (elétrodo de nível encapsulado) 10,00€
- 30 m Cabos 90,00€
- Diversos 50,00€

Custo estimado do investimento 650,00€

Embora só seja necessário a introdução de mais 2 sondas, foram contabilizadas 4 de forma a substituir as existentes por já se encontrarem com alguma deterioração.

4.1.2 Bombas da Simona

No caso das bombas da Simona, a otimização passa pela gestão horária do funcionamento das bombas, sendo também necessário instalar 4 sondas no depósito.

O conceito é o mesmo que no caso da estação de tratamento, no entanto, como as características das bombas 1 e 2 são diferentes, iremos colocar a bomba 1 (bomba com melhor rendimento) a trabalhar nas horas de cheias e ponta, sendo que a alternância, apenas ficará a fazer-se nas horas de vazio e super vazio.

Uma vez que um dos grupos de bombagem (motor/impulsor) já foi retificado, não é possível basear-se nas curvas características dos equipamentos para prever os caudais e rendimentos.

Foi então feita uma comparação através dos consumos obtidos (através de medição por pinça amperimétrica, ver figuras 4-4a e 4-4b) e caudal transportado (através de caudalímetro), tendo-se obtido os valores apresentados na tabela 4-1.



Figura 4-4a Consumo Bomba 1



Figura 4-4b Consumo Bomba 2

Tabela 4-1 – Tabela comparativa de corrente absorvida e caudais entre a Bomba 1 e Bomba 2

	Tempo de funcionamento			Caudal				Consumo	
	Início	fim	Minutos	Inicial	Final	Bombeado	m ³ /hora	A/fase	m ³ /A
Bomba 1	14:22:12	14:42:12	00:20:00	3712849,10	3712881,90	32,80	98,40	74,50	1,321
Bomba 2	16:43:42	17:01:41	00:17:59	3712892,50	3712914,90	22,40	74,74	77,10	0,969

Pode-se então verificar que a Bomba 1, possui um rendimento de 36% superior ao da Bomba 2, logo, no horário de Ponta e Cheias, deverá trabalhar preferencialmente a Bomba 1.

A proposta do método de funcionamento será o apresentado no fluxograma da figura 4-5.

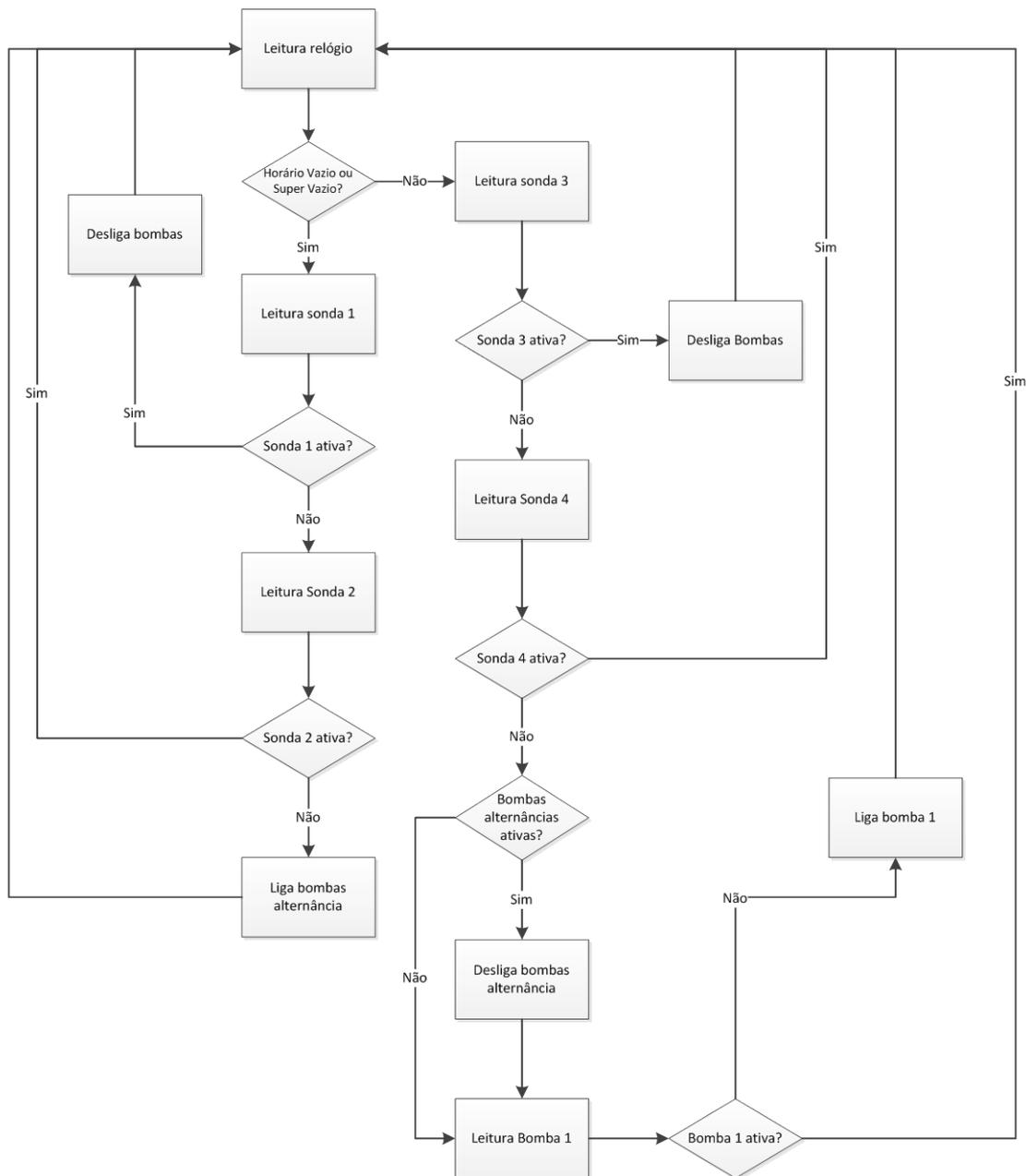


Figura 4-5 Fluxograma do esquema de comando das bombas da Simona

O autómato não será contabilizado neste ponto, uma vez que 1 autómato será capaz de gerir todas as alterações propostas para o edifício da ETA, e o mesmo já foi contabilizado no ponto anterior.

Será necessário efetuar a ligação entre o sinal das sondas obtido do recetor via rádio e o autómato, e a ligação entre o autómato e o circuito de comando das bombas.

Deste modo, será necessário instalar no depósito da Simona:

- 4 Sondas (elétrodo de nível encapsulado) 10,00€
- 15 m Cabos 45,00€
- Diversos 20,00€

Embora só seja necessário a introdução de mais 2 sondas, foram contabilizadas 4 de forma a substituir as existentes por já se encontrarem com alguma deterioração.

Custo estimado do investimento 75,00€

4.1.3 Bombas da Zona Industrial

No caso das bombas da Zona Industrial, a implementação das alterações a realizar serão idênticas ao caso referido em 4.1.2, pois também aqui temos 2 bombas com características diferentes (55 kW e 37 kW). No entanto, não foi possível obter as curvas características das mesmas, e como também não existe caudalímetro instalado, não será possível determinar qual bomba possui o melhor rendimento. Assim, não será possível estabelecer um funcionamento preferencial para a bomba com melhor rendimento.

A otimização do funcionamento passa pela gestão horária do funcionamento das bombas, sendo também necessário instalar mais 2 sondas no depósito da Zona Industrial.

Na ETA será necessário estabelecer a ligação entre o sinal das sondas obtido do recetor via rádio e o autómato, e a ligação entre o autómato e o circuito de comando das bombas.

Deste modo, será necessário instalar no depósito da ZI:

- | | |
|--|--------|
| • 4 Sondas (elétrodo de nível encapsulado) | 10,00€ |
| • 15 m Cabos | 45,00€ |
| • Diversos | 20,00€ |

Embora só seja necessário a introdução de mais 2 sondas, foram contabilizadas 4 de forma a substituir as existentes por já se encontrarem com alguma deterioração.

Custo estimado do investimento 75,00€

4.1.4 Bombas de Malhadas

Como foi referido anteriormente, não existe controlo dos níveis de água do depósito de malhadas, sendo efetuado o comando de paragem e arranque através de bóia e temporizador.

De modo a termos um controlo rigoroso dos níveis dos depósitos, a solução passa por instalar quatro sondas no depósito, sendo a comunicação feita através de emissor/recetor via rádio.

O comando de arranque e paragem será o mesmo que o já referido para os depósitos da Simona e da Zona Industrial.

No local não existe rede de distribuição de energia elétrica, de modo que será necessário instalar um pequeno painel solar fotovoltaico e uma bateria, para a alimentação das sondas e do emissor via rádio, conforme exemplificado na figura 4-6.

Deste modo, durante o dia o sistema funciona a energia solar e durante a noite ou dias menos solarengos a alimentação é feita a partir da bateria. Assim, no dimensionamento da capacidade da bateria, terá de se ter em atenção a autonomia pretendida para a carga instalada.

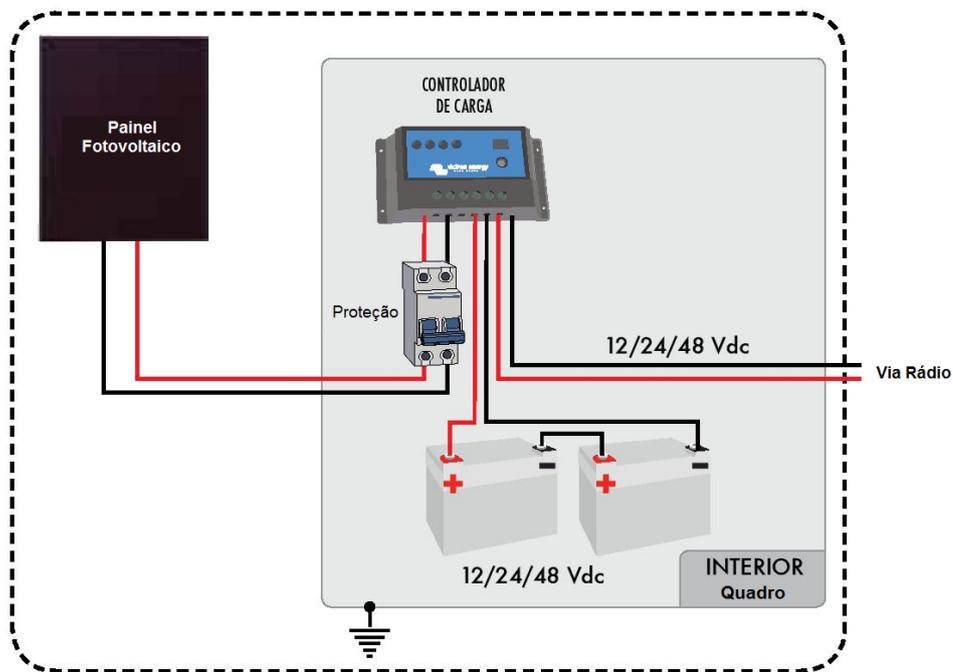


Figura 4-6 Esquema do Kit Fotovoltaico [8]

O Município dispõe de um conjunto via rádio emissor/recetor em armazém e que não está a ser utilizado, sendo necessário apenas a aquisição do painel solar, bateria e invólucro do quadro elétrico.

No depósito será necessário a instalação de um conjunto de 4 sondas.

Na ETA será necessário a ligação entre o sinal das sondas obtido do recetor via rádio e o autómato, e a ligação entre o autómato e o circuito de comando das bombas.

Deste modo, será necessário instalar:

- KIT CAOBM-12/010 da G.C.E. composto por:

- 1 painel fotovoltaico 50 W
- 1 bateria 12 Vdc 31 A/h
- 1 regulador de carga 10 A
- 1 Invólucro

Preço 766,00€ - 50% desconto = 383,00€

- 4 Sondas 10,00€
- 10 m Cabos 30,00€
- Diversos 30,00€

Total = 453,00€

O custo de instalação não é contabilizado, pois a mesma pode ser executada pelos funcionários da Câmara Municipal.

4.1.5 Bombas do Centro Histórico

No caso das bombas do Centro Histórico, a solução passará por abolir por completo esta central de pressurização, uma vez que há possibilidade de interligar a rede de abastecimento de águas da cidade com a rede do Centro Histórico.

A altura do depósito da Simona é suficiente para criar pressão para ambas áreas (Cidade e Centro Histórico), ficando este sistema instalado apenas para situações de avarias.

Para esta alteração não será necessário investimento, apenas a conclusão de obras da rede de águas do Bairro Verde que já estão em execução para a respetiva interligação.

Na figura 4-7 é apresentado um esquema simplificado das ligações a efetuar no edifício da ETA.

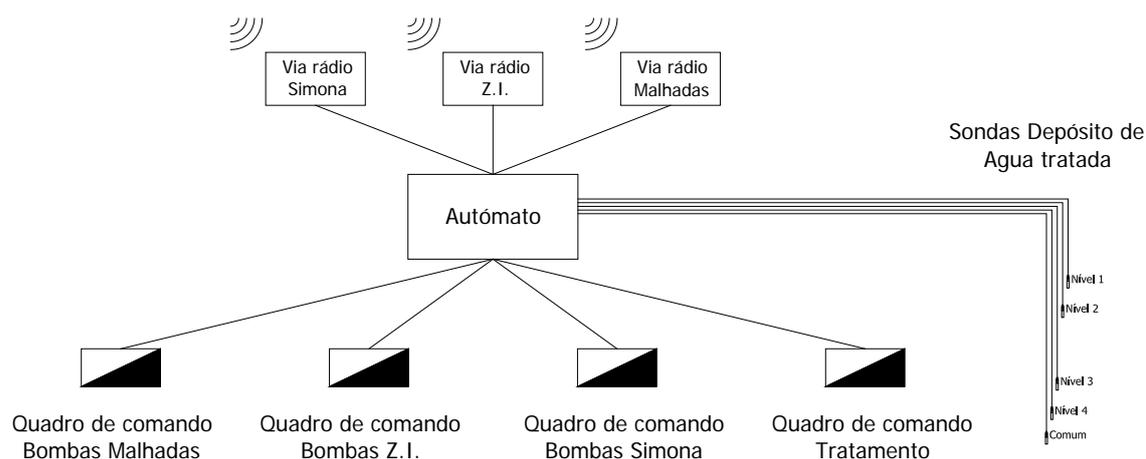


Figura 4-7 Esquema simplificado das ligações da ETA

Para a implementação das soluções apresentadas (ETA e depósitos) será necessário o seguinte investimento:

• Estação de Tratamento	650,00€
• Depósito da Simona	75,00€
• Depósito da Zona Industrial	75,00€
• Depósito de Malhadas	453,00€
Total	1.253,00€

4.2 Instalação/alteração de equipamentos

Nesto ponto, será abordado a economia obtida através da instalação de novos equipamentos, neste caso baterias de condensadores, que reduzem a energia reativa consumida e consequentemente a fatura energética.

4.2.1 Bateria de condensadores

O $\cos \varphi$ médio de uma instalação a corrigir é um parâmetro fundamental para calcular a potência do equipamento de correção do $\cos \varphi$ a instalar.

Um fator importante no rendimento da instalação será o seu $\cos \varphi$, de modo que quanto maior for este valor, melhor será o desempenho da instalação.

Como foi referido no capítulo 2, uns dos métodos aproximados para o cálculo do $\cos \varphi$ consiste em calcular a média dos últimos meses, dos valores do $\cos \varphi$ indicados nas faturas do fornecedor de energia elétrica.

Na tabela 4-2 é apresentado o resumo dos dados das faturas do ano de 2011, bem como o cálculo da energia reativa necessária para corrigir o $\cos \varphi$ para 0,98 e 1.

Tabela 4-2 – Resumo faturas 2011 (ETA) e cálculo para correção do $\cos \varphi$

Período de faturação (2011)	Potência Tomada	cos φ	Energia Consumida fora de vazio (kWh)		Total consumo (kWh)	Energia Reativa Faturada (kvarh)	kvar necessário para correção para:	
		Faturado	Ponta	cheias			cos φ 0,98	cos φ 1
Janeiro	159,60	0,87	9.231	19.857	29.088	4.012	58,09	90,49
Fevereiro	159,60	0,86	7.428	16.812	24.240	4.374	62,24	94,64
Março	159,60	0,85	7.890	17.373	25.263	5.228	66,55	98,95
Abril	159,60	0,84	10.617	22.521	33.138	8.114	70,70	103,10
Mai	159,60	0,84	8.169	19.872	28.041	6.313	70,70	103,10
Junho	164,40	0,86	12.843	28.173	41.016	6.919	64,12	97,49
Julho	166,50	0,88	14.157	30.519	44.676	5.893	56,11	89,91
Agosto	167,40	0,88	14.199	33.051	47.250	6.129	56,41	90,40
Setembro	178,50	0,88	14.778	34.986	49.764	6.842	60,15	96,39
Outubro	178,50	0,87	14.787	35.241	50.028	7.409	64,97	101,21
Novembro	178,50	0,87	10.242	25.500	35.742	5.500	64,97	101,21
Dezembro	178,50	0,86	9.351	22.386	31.737	5.513	69,62	105,85
MÉDIA	167,53	0,86	11141	25524	36665	6021	63,72	97,73

Para o cálculo da potência da bateria de condensadores a instalar utilizou-se a fórmula simplificada indicada no ponto 2.3.4, a tabela 2-4 e os $\cos \varphi$ inicial e objetivo para a instalação.

$$Q_c = F \times P_1$$

Q_c = Potência da Bateria de Condensadores a instalar

P_1 = Potência ativa média da Instalação ou potência tomada

F = coeficiente retirado da tabela 2-4

Podemos verificar que o fator de potência médio da instalação é ligeiramente elevado, no entanto deverá ser corrigido de forma a evitar a faturação de energia reativa.

Foram calculados 2 cenários, para um fator de potência 0,98 e 1.

Tratando-se de instalações abastecidas em BTE, o fator de potência alvo foi de 0,98, o que nos garante ainda uma ligeira margem para o fator de potência mínimo de faturação de 0,96. Deste modo, escolher-se-á uma solução com uma potência entre 63.72 kvar e 97.73 kvar o que garante ainda uma margem caso se verifique um ligeiro aumento de potência nas instalações.

Nas instalações da ETA de Miranda foram pagos no ano de 2011 a quantia de 2.813,77€ relativos ao consumo da energia reativa.

Foram solicitados orçamentos a algumas empresas, as quais apresentaram soluções análogas, sendo o valor destas preço chave na mão a rondar os 2.600,00€ (dois mil e seiscentos euros) para uma bateria de 84 kvar.

Da mesma forma temos para a instalação das bombas da captação:

Tabela 4-3 – Resumo faturas 2011/2012 (Captação) e cálculo para correção do $\cos \phi$

Período de faturação (2011/2012)	Potência Tomada	$\cos \phi$	Energia Consumida fora de vazio (kWh)		Total consumo (kWh)	Energia Reativa Faturada (kvarh)	kvar necessário para correção para:	
		Faturado	Ponta	cheias			$\cos \phi$ 0,98	$\cos \phi$ 1
Julho	134	0,87	10.818	20.135	30.953	4.823	48,78	75,98
Agosto	134	0,87	10.501	23.668	34.169	5.337	48,78	75,98
Setembro	134	0,86	10.240	23.796	34.036	5.792	52,26	79,46
Outubro	134	0,85	10.141	23.786	33.927	7.072	55,88	83,08
Novembro	134	0,85	6.750	17.154	23.904	4.889	55,88	83,08
Dezembro	134	0,85	7.164	16.640	23.804	5.004	55,88	83,08
Janeiro	134	0,85	7.509	16.714	24.223	5.394	55,88	83,08
Fevereiro	134	0,84	8.889	18.104	26.993	9.183	59,36	86,56
Março	134	0,84	6.878	17.810	24.688	7.919	59,36	86,56
Abril	134	0,85	6.033	15.719	21.752	6.755	55,88	83,08
Mai	134	0,85	4.670	13.672	18.342	5.726	55,88	83,08
Junho	134	0,84	6.614	16.289	22.903	7.558	59,36	86,56
MÉDIA	134,00	0,85	8017	18624	26641	6288	55,27	82,47

Deste modo, escolher-se-á uma solução com uma potência entre 55.26 kvar e 82.47 kvar o que garante ainda uma margem caso se verifique um ligeiro aumento de potência.

Nas instalações da captação foram pagos nos últimos 12 meses a quantia de 3.089,59€ relativos ao consumo da energia reativa.

Foram solicitados orçamentos a algumas empresas, as quais apresentaram soluções análogas, sendo o valor destas preço chave na mão a rondar os 2.500,00€ (dois mil e quinhentos euros) para uma bateria de 60 kvar.

Para ambos os casos, optou-se por uma compensação geral, que nestes casos não será muito prejudicial, pois as distâncias entre o quadro geral e quadros parciais é muito pequena (inferior a 10 m), logo, as perdas por efeito de Joule são baixas.

Após a instalação destes equipamentos, será necessário proceder a recalibração das proteções dos motores, pois haverá uma redução da corrente elétrica consumida.

5. Resultados, conclusões e trabalho futuro

5.1 Resultados

Posteriormente ao estudo da arte, ao levantamento dos dados, ao estudo do regime de funcionamento/tratamento e à apresentação das soluções propostas, será necessário verificar e validar se as mesmas apresentam uma mais valia pela sua implementação.

De seguida, é apresentado um resumo com o custo, o “*payback*”, e a poupança anual de cada intervenção.

Com a alteração dos procedimentos e horários de tratamento/abastecimento estima-se uma redução significativa dos consumos em horas de ponta, deslocando este consumo para o período das horas de cheias, e a redução do consumo das horas de cheias para o período das horas de vazio.

O cálculo das poupanças provenientes desta medida, basearam-se nas informações dadas pelos operadores da ETA, principalmente no que diz respeito ao tempo que o reservatório consegue abastecer as localidades sem a necessidade de ligar o tratamento.

Estima-se com esta medida, as seguintes poupanças:

- Deslocamento de 100% do atual consumo das bombas de elevação do Rio Douro do horário de Ponta para Cheias, (uma vez que o depósito de água tratada consegue abastecer as localidades por um período de 3 horas nas alturas de maior consumo, não será necessário ligar as bombas da captação nas horas de ponta)
- Deslocação de 75% do atual consumo da ETA das horas de Ponta para horas de Cheias (do mesmo modo, o depósito de água tratada consegue abastecer as localidades por um período de 3 horas nas alturas de maior consumo, não será necessário ligar as bombas do tratamento de água nos períodos de horas de ponta, no entanto, considera-se 25% do consumo devido a bombas de rega, circulação etc.)
- Deslocação de 20% dos atuais consumos das bombas de elevação do Rio Douro e ETA das horas de Cheias para as horas de Vazio, (este valor, embora não exista forma de o calcular, é um valor perfeitamente aceitável, pois no início das horas de cheia os depósitos (água tratada, Simona, ZI, e Malhadas) encontrar-se-ão na “zona 1”, conforme referido em 4.1.1, o que não acontecia anteriormente, que poderia estar quase vazio. Para além disso, também a

utilização da bomba 1 da Simona nas horas de ponta e cheias contribuirá para uma redução desse consumo, uma vez que possui um rendimento 36% melhor que o da bomba 2.

Nas tabelas 5-1 e 5-2, são apresentados as poupanças obtidas pelas alterações do método de funcionamento.

Tabela 5-1 – Cálculo da poupança obtida na ETA pela introdução das alterações no método de funcionamento

Data	Consumos (kWh)				Custo Total (€)
	Ponta	Cheias	Vazio	Super Vazio	
06-01-2011	9231,00	19857,00	7996,00	5330,00	
05-02-2011	7428,00	16812,00	6224,00	4150,00	
05-03-2011	7890,00	17373,00	5854,00	3902,00	
06-04-2011	10617,00	22521,00	7949,00	5299,00	
05-05-2011	8169,00	19872,00	7492,00	4994,00	
06-06-2011	12843,00	28173,00	12609,00	8406,00	
06-07-2011	14157,00	30519,00	14528,00	9685,00	
04-08-2011	14199,00	33051,00	15619,00	10412,00	
06-09-2011	14778,00	34986,00	16259,00	10840,00	
07-10-2011	14787,00	35241,00	15514,00	10343,00	
07-11-2011	10242,00	25500,00	11230,00	7487,00	
07-12-2011	9351,00	22386,00	9824,00	6550,00	
Total (kWh)	133692,00	306291,00	131098,00	87398,00	
Preço (kWh)	0,1392	0,1015	0,0636	0,0593	
Custo (€)	18.609,93 €	31.088,54 €	8.337,83 €	5.182,70 €	63.219,00 €
Valor após implementação (€)	4.652,48 €	35.048,13 €	12.233,85 €	5.182,70 €	57.117,17 €
			Poupança Anual (€)		6.101,83 €

Tabela 5-2 – Cálculo da poupança obtida na Captação do Rio Douro pela introdução das alterações no método de funcionamento

Data	Consumos (kWh)				Custo Total (€)
	Ponta	Cheias	Vazio	Super Vazio	
06-01-2011	6954,00	12995,00	4448,00	2965,00	
05-02-2011	6871,00	12679,00	4577,00	3052,00	
05-03-2011	6337,00	11359,00	3007,00	2005,00	
06-04-2011	8303,00	14787,00	3143,00	2096,00	
05-05-2011	5514,00	14350,00	4169,00	2779,00	
06-06-2011	9353,00	20034,00	7084,00	4723,00	
06-07-2011	10818,00	20135,00	7673,00	5115,00	
04-08-2011	10501,00	23668,00	8804,00	5869,00	
06-09-2011	10240,00	23796,00	8947,00	5965,00	
07-10-2011	10141,00	23786,00	8599,00	5732,00	
07-11-2011	6750,00	17154,00	6056,00	4037,00	
07-12-2011	7164,00	16640,00	6119,00	4080,00	
Total (kWh)	98946,00	211383,00	72626,00	48418,00	
Preço (kWh)	0,1392	0,1015	0,0636	0,0593	
Custo (€)	13.773,28 €	21.455,37 €	4.619,01 €	2.871,19 €	42.718,86 €
Valor após implementação (€)	0,00 €	27.207,32 €	7.307,81 €	2.871,19 €	37.386,31 €
			Poupança Anual (€)		5.332,55 €

O valor total de poupança obtido, é apresentado na tabela 5-3.

Tabela 5-3 – Quadro resumo das poupanças na ETA e Captação

ETA	6.101,83 €
Captação do RioDouro	5.332,55 €
Total	11.434,38 €

Estas alterações além de reduzirem os custos conforme apresentado, também contribuirão para uma redução do consumo da energia reativa, uma vez que parte do consumo é deslocado para horas de vazio e super vazio e a energia reativa é faturada apenas nas horas fora de vazio.

Na tabela 5-4 são apresentados os custos, poupanças e payback de cada investimento por medida.

Tabela 5-4 – Cálculo das poupanças globais

Medida	Valor estimado de Investimento	Consumo de energia elétrica em 2011	Custo estimado de energia para 2013	Poupança (anual)	Poupança prevista em %	Payback Meses (Só energia)
Alterações do método de funcionamento	1.253,00 €	105.937,86 €	94.503,48 €	11.434,38 €	10,79%	1,31
Instalação de baterias de condensadores	5.100,00 €	5.903,36 €	0,00 €	5.903,36 €	100,00%	10,37
Golbal	6.353,00 €	111.841,22 €	94.503,48 €	17.337,74 €	15,50%	4,40

Podemos verificar que o retorno do investimento é muito rápido, sendo o retorno global inferior a 5 meses, o que demonstra a validade/viabilidade da aplicação das medidas propostas.

5.2 Conclusões

Pelo trabalho apresentado, poderá afirmar-se que uma auditoria é um instrumento fundamental para que se possa contabilizar os consumos de energia, a eficiência e perdas dos equipamentos, de modo a propor as medidas corretivas e reduzir as perdas sem afetar a produção, ou seja, economizar energia através de um uso mais eficiente da mesma.

Uma auditoria poderá ter vários níveis de complexidade e conhecimentos, no entanto, na sua vertente mais simples não existe a necessidade de equipamentos caros nem de conhecimentos avançados, mas sim, o conhecimento do modo de funcionamento das instalações, processo produtivo e equipamentos em causa.

Deste modo, e apenas pela análise de faturas de energia elétrica podem atingir-se reduções significativas dos custos com a energia elétrica. Para tal devem ter-se em atenção algumas premissas:

- Escolher o fornecedor de energia elétrica;
- Adequar a opção tarifária às condições do consumidor;
- Manter a potência contratada no valor mínimo possível;

-
- Deslastrar consumos em Horas de Ponta e Cheias;

Não foi possível efetuar uma comparação de preços entre os fornecedores de energia, pois com o mercado liberalizado os valores cobrados variam de cliente para cliente, sendo que os mesmos não são fixados de modo igual para todos os clientes.

Relativamente à escolha da opção tarifária, e uma vez que se tratam de instalações que trabalham consoante o consumo de água da população e esta por sua vez é feita durante o período diurno na sua maioria e de igual modo entre dias da semana feriados e fins de semana, conclui-se que a opção de Ciclo Diário ser a mais correta.

Também foi verificado a parcela de potência contratada, no entanto, esta está corretamente selecionada, pois os valores da potências contratadas 178,50 kW para ETA de Miranda e 134,00 kW para as bombas da captação condizem com as potências tomadas de cada instalação.

A nível do deslastre do consumo em horas de Ponta e Cheias foram apresentadas neste trabalho soluções de fácil implementação e de muito baixo custo (1.253,00€). A adoção destas soluções apresentam um rápido retorno do investimento (inferior a dois meses) e uma considerável redução do valor da fatura energética (11.434,38€ por ano), uma vez que evita o consumo nas horas de ponta e cheias, conforme se pode verificar nos cálculos apresentados na tabela 5-4.

A nível da redução do consumo de energia reativa foram também apresentadas soluções de poupança, no entanto, estas, com um retorno do investimento um pouco superior ao da medida anterior (inferior a 11 meses), e com poupanças anuais de 5.903,36€

Esta solução passa pela instalação de uma bateria de condensadores com regulação automática de modo a reduzir o consumo da energia reativa da instalação, tendo a mesma um custo de 5.100,00€

Em termos de dificuldades e imprevistos deste trabalho, tem-se apenas a referir a dificuldade na comparação de bombas instaladas em paralelo, tanto na obtenção de curvas características das bombas, uma vez que algumas já foram descontinuadas à alguns anos, bem como na verificação do desempenho das mesmas, pois como já forma rebobinadas e retificadas não apresentam o rendimento inicial.

5.3 Trabalho Futuro

Toda a metodologia aplicada às instalações em estudo poderá ser aplicada a outras instalações, principalmente a Estação de Tratamento de Águas do Barrocal do Douro, sendo que esta, já se encontra automatizada sendo apenas necessário alterações ao nível da programação.

Como propostas para um trabalho futuro apresenta-se a seguir alguns tópicos que deverão ser estudados e analisados profundamente de modo a verificar a viabilidade a altura ideal para as suas implementações.

5.3.1 Instalação de arrancadores suaves nas bombas do tratamento e ETA

Nas instalações objeto deste estudo, os motores elétricos são os principais consumidores de energia elétrica, produzindo a energia mecânica responsável pelos diversos acionamentos das bombas.

As bombas de captação do Rio Douro, já possuem arrancadores suaves, no entanto, tanto no processo de tratamento de água como nas bombas de distribuição o arranque das bombas é estrela-triângulo.

A corrente de arranque em ligação direta para um motor de indução pode ser seis ou sete vezes maior do que a corrente nominal à plena carga. Em algumas circunstâncias, e especialmente para os motores mais pequenos, esta elevada corrente de arranque é aceitável, mas para máquinas maiores, o requisito feito ao sistema elétrico local poderá ser demasiado grande e a corrente nos enrolamentos do motor poderá ser excessiva.

Os motores assíncronos trifásicos apresentam durante o arranque desempenhos desfavoráveis de binário e de intensidade de corrente originados por arrancadores clássicos de tensão reduzida, de que são exemplos o arranque estrela-triângulo ou o arranque por auto-transformador e que se repercutem em elevadas perdas energéticas.

De forma a corrigir estes desempenhos, estabelecendo-se as melhores condições de funcionamento, utilizam-se cada vez mais os arrancadores suaves (*soft-starters*).

Os arrancadores eletrónicos suaves são uma alternativa que utiliza um dispositivo simples, tal como um triac para retardar o disparo de cada ciclo de tensão e portanto reduzir a tensão eficaz aplicada ao motor.

À parte de uma pequena poupança de energia durante a rampa de subida, os arrancadores suaves não reduzem a energia que o motor consome. No entanto, reduzem o desgaste

mecânico durante o arranque e a paragem, permitindo a poupança de energia desligando os motores com maior frequência.

Os arrancadores do tipo estado sólido fornecem um arranque suave ou um arranque gradual por aplicação de tensões variáveis progressivas, obtendo-se correntes de arranque limitadas a binários de arranque convenientes. Permitem, por isso, poupar energia no funcionamento dos motores elétricos, por aplicação, em cada momento, da tensão adequada relativamente ao estado da carga, ou seja, ajustar o consumo do motor à carga, em cada instante. Oferecem também a possibilidade de escolha de três modos diferentes de arranque programado: o arranque suave, a limitação de corrente de arranque ou o arranque à tensão plena.

Além destes modos de arranque, o controlador de estado sólido permite também o ajuste do tempo da rampa de arranque suave, ou do valor máximo da corrente limite por seleção das características de arranque, otimizando deste modo todo o processo.

A figura 5-1 ilustra a comparação de valores típicos, respetivamente:



Figura 5-1 Comparação-Arranque Direto/Suave [1]

- Correntes de arranque (arranque direto e com controlador) em relação à intensidade nominal
- Tempos de aceleração (arranque direto e com controlador)
- Binário de arranque (arranque direto e com controlador).

As principais vantagens do uso de controladores de estado sólido são a eliminação do ponto de transição de corrente e o tempo requerido para atingir a tensão nominal que pode ser ajustado na gama de aproximadamente 2 a 30 segundos. O resultado que se obtém é a anulação de picos de corrente quando o controlador está corretamente adaptado às características da carga.

A figura 5-2 compara a corrente durante o arranque com um típico estrela/ triângulo, ligação direta e arrancadores suaves.

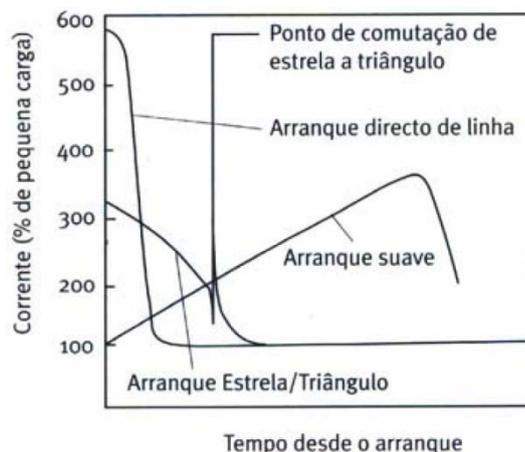


Figura 5-2 Comparação-Arranque Direto/Suave (correntes de arranque) [1]

Outras funções disponíveis em arrancadores eletrônicos suaves incluem proteção adicional ao motor como falta de fase, curto-circuitos, rutura de uma linha, elevação de temperatura, etc..

As vantagens da utilização dos “*soft-starters*” conducentes a economias destacam-se por:

- Arranque suave paragem suave
- Menores desgastes mecânicos
- Poupança de energia
- Corrente de arranque limitada
- Menores picos de corrente
- Menores necessidades de reparação e manutenção

No caso das bombas de distribuição, o arranque e paragem suave contribuem também para a eliminação dos golpes de ariete, poupando assim a tubagem de picos de pressão.

É necessário ter em conta, que a instalação deste tipo de equipamentos introduz harmónicos na instalação, sendo que deverá ser analisada a necessidade da instalação de filtros de modo a não perturbar a instalação.

5.3.2 Motores de alto rendimento

Atualmente existem no mercado motores de alto rendimento, cuja utilização se pode traduzir em poupanças significativas nos custos de funcionamento do motor, poupanças essas que compensam o maior custo inicial de um motor eficiente relativamente aos motores standard. Relativamente aos motores standard, os motores de alto rendimento apresentam tipicamente menos 30% - 50% de perdas.

Os motores de alto rendimento são pois mais volumosos e mais caros que os motores standard, pois usam maior quantidade de matérias-primas, sendo também, algumas destas de

superior qualidade. Tipicamente, os motores de alto rendimento têm um acréscimo de preço de 25-30% relativamente aos motores standard.

Os motores de alto rendimento, por terem menores perdas funcionam normalmente a mais baixa temperatura, o que conduz a uma vida útil mais longa.

Os motores de alto rendimento, com níveis de rendimento superiores aos motores standard em cerca de 2–6 pontos percentuais, permitem outros benefícios, tais como:

- Suportam melhor as variações de tensão e harmónicos que os motores standard
- Apresentam, normalmente, um fator de potência superior, relativamente aos motores standard
- Têm um modo de operação mais silencioso, devido à menor potência de ventilação requerida.

O estudo para a instalação de um motor de alto rendimento deverá ser feito em uma das três situações:

- Necessidade de instalação de um novo motor
- Avaria de um motor existente
- Diminuição do escorregamento, ou seja, um pequeno aumento da velocidade do motor

5.3.3 Instalação de caudalímetros

A instalação de caudalímetros poderá fornecer dados importante em novos estudos e auditorias que se façam às instalações, como por ex. para o abastecimento do depósito da Zona Industrial verificar qual das bombas possui o melhor rendimento, de modo a colocá-la em funcionamento nas horas de ponta e cheias como o que foi feito com as bombas da Simona.

Também com a instalação de caudalímetros e com os dados de faturação é possível verificar se existem fugas na conduta ou eventuais ligações clandestinas.

Referências Bibliográficas

[1] “Eficiência Energética na Indústria – ADENE 2004”

[2] *Ciclo semanal de Baixa Tensão – ERSE, Obtido no site*
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanaTodosFor necPtCont.aspx> em 1 de Setembro de 2012.

[3] *Ciclo diário de Baixa Tensão Especial – ERSE, Obtido no site*
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CiclodiariofornecBTEB TNPt.aspx> em 1 de Setembro de 2012.

[4] *Compensação de energia reactiva e Filtragem de harmónicas B.T. – Schneider Electric*

[5] *J. Neves dos Santos, Abril 2006 “Compensação do Factor de Potência – FEUP”*

[6] *Correcção do factor de Potência - Norcontrol, obtido no site*
<http://www.norcontrol.pt/media/images/Correccaocos.pdf> acedido em 20 de abril de 2012.

[7] *“Workshop – Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, Qualidade de Energia Harmonicas” - Schneider/Procobre*

[8] *Catálogo General Cuadros Electricos 2011/2012*

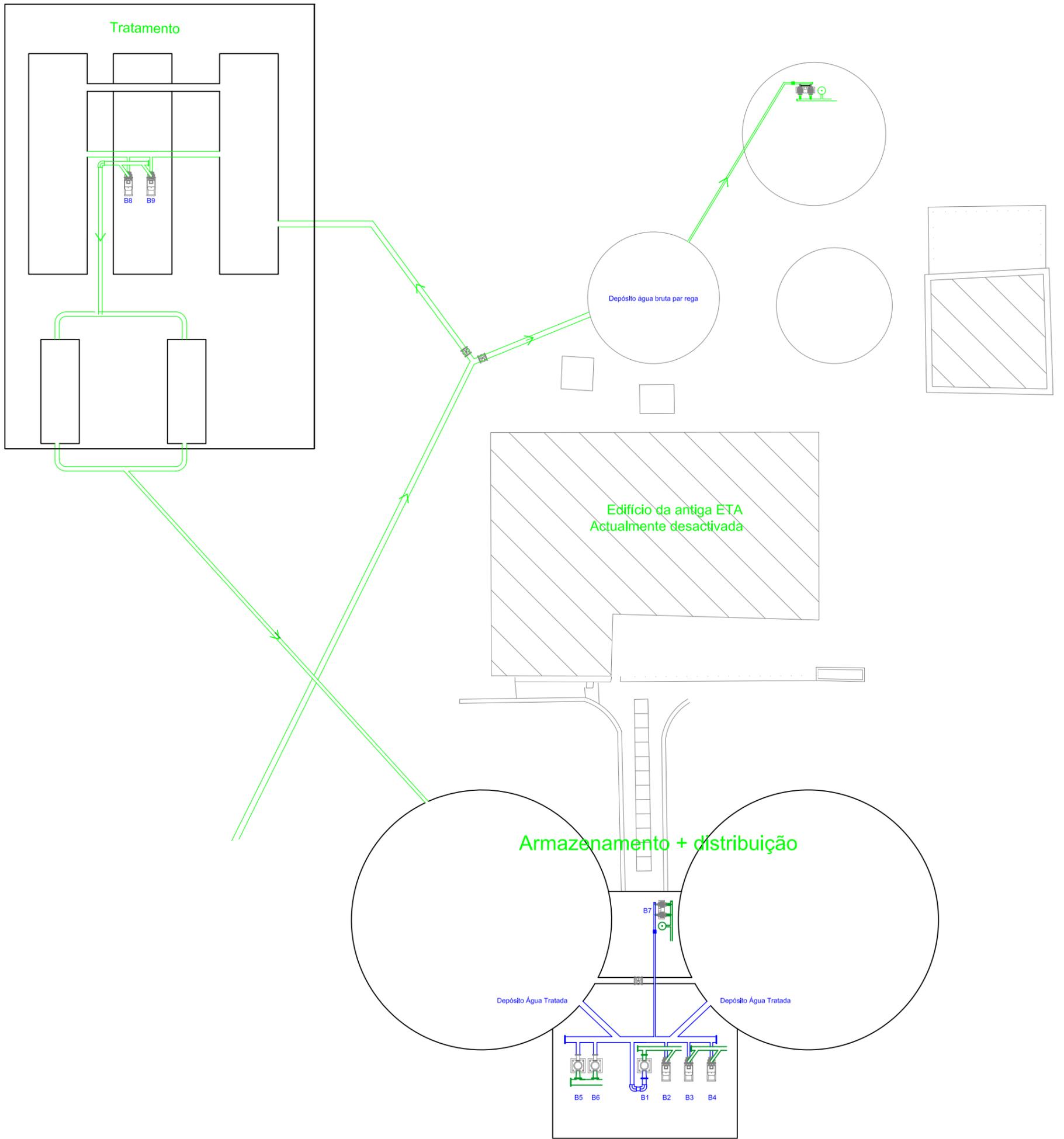
[9] *“Eficiência energética na indústria {1.ª PARTE - AUDITORIAS ENERGÉTICAS}”. Em: O Electricista Edição 32: 72-78.*

[10] *“Eficiência energética na indústria {ANÁLISE DE FACTURAS DE ENERGIA ELÉCTRICA}”. Em: O Electricista Edição 32: 36-42.*

[11] *Energy management systems – requirements with guidance for use*
BSI Standards Publication- BS EN ISO 50001:2011

Anexo A – Planta da Estação de Tratamento de Águas

Neste anexo apresenta-se a planta relativo à constituição e disposição dos equipamentos da ETA de Miranda do Douro.



ANEXO I

DESIGNAÇÃO ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS

LOCAL DA OBRA BAIRRO VERDE - MIRANDA DO DOURO

DESENHO PLANTA GERAL

DATA JULHO 2012

FASE LEVANTAMENTO

ESCALA 1/200

Desenho nº

01

Anexo B - Planta com a localização dos depósitos

Neste anexo apresenta-se a planta com a localização e disposição relativa dos 3 depósitos de água, a ETA de Miranda do Douro e a Localização da captação de água no Rio Douro.

