

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Eficiência Energética Num Edifício do Setor do Retalho

Vasco Daniel da Costa Abreu

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Dr. António Machado e Moura

Co-orientador: Engº Tiago Fernandes

21 de Fevereiro de 2019

Resumo

A escassez dos recursos fósseis, o aumento gradual e acentuado dos preços bem como dos problemas ambientais levou a uma preocupação dos líderes mundiais que se empenham em implementar medidas que garantam uma maior sustentabilidade energética. Esta sustentabilidade assenta em dois pilares, a eficiência energética e o uso de energias renováveis.

Um dos principais consumidores de energia a nível mundial, bem como de emissão de gases de efeito de estufa são os edifícios. Como tal faz sentido compreender a natureza dos seus consumos para que se estabeleçam políticas energéticas adequadas o futuro. Edifícios de retalho têm os maiores consumos e com isto em mente, são candidatos perfeitos para aplicar medidas de eficiência energética, quer para reduzir as faturas e maximizar lucros, quer para diminuir as contribuições para o efeito de estufa.

Neste contexto, a presente dissertação tem o intuito de compilar e estruturar informação relativa á eficiência energética e aplicação de energias renováveis em edifícios de retalho. Ao longo do projeto foi analisada a situação atual do Centro Comercial Alameda Shop & Spot, verificando-se os tarifários e identificando-se os principais consumidores: o sistema de AVAC e a iluminação. Após fazer a devida revisão bibliográfica sobre as temáticas referidas, são propostas algumas melhorias em cada setor.

Também é estudada a possibilidade de integração de energias renováveis no edifício. Neste caso a implementação de unidades de micro produção fotovoltaica para a produção de energia elétrica, de acordo com a legislação em vigor.

Com este estudo pretende-se aplicar alterações á estrutura de forma a diminuir a fatura elétrica e aumentar o consumo sustentável, garantindo sempre as condições necessárias e conforto de todos os que frequentam o espaço.

Abstract

The scarcity of fossil fuels, the steady increase of prices as well the increasing environmental problems, lead to a concern by world leaders who are now committed on applying measures to ensure greater energy sustainability. This sustainability is set over two pillars, energy efficiency and the use of renewable energies.

One of the main consumers of energy worldwide as well as mains emitters of greenhouse gases are buildings. This being sad, it makes sense understanding the nature of its consumptions so that new energy polices can be applied into the future. Retail buildings have the greatest consumptions, and with this in mind, they are the perfect candidates for energy efficiency measures, both to reduce energy bills and maximize profits and to reduce their contributions for greenhouse effect.

In this context, this dissertation had the purpose of compiling and structuring information related to energy efficiency e the application of renewable energy in retail buildings. In this project, the current status of the Alameda Shop&Spot mall was evaluated, checking the energy tariff in use and identifying the mains consumers, the HVAC system and lighting. After the proper bibliographic review about the themes here mentioned, some improvement options are presented to each sector.

The possibility of implementing renewable energies into the building was also studied. In this case implementing a photovoltaic system in order to produce electric energy under the ruling legislation.

Whit this study is intended to apply changes to the structure in order to reduce the electric bill e increase sustainable consumption, always ensuring as necessary conditions and comfort for everyone who attends the space.

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade.

Ao Professor Doutor António Machado e Moura, pela sua orientação, total apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração tanto durante a realização desta dissertação como durante o resto do meu percurso académico.

Ao Engenheiro Nuno Fernandes, que me acompanhou no terreno todos os dias, pela paciência, clareza, rigor e total disponibilidade na colaboração com o meu trabalho e por todo o conhecimento que me transmitiu estes meses.

Ao Engenheiro Tiago Fernandes pela disponibilidade e apoio para acompanhar a escrita do documento, pelas indicações e opiniões e críticas, que sem elas não seria possível terminar este projeto.

Aos meus amigos e colegas PLG&CIA que estiveram ao meu lado durante estes cinco anos, pelo companheirismo e pela família que nos tornamos. Por último, tendo consciência que sozinho nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento especial aos meus pais pelo seu apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo. A eles dedico este trabalho!

Vasco Abreu

*“Eu não tenho ídolos.
Eu admiro trabalho, dedicação e competência.”*

Ayrton Senna

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Motivação	2
1.2	Objectivos	5
1.3	Estrutura da Dissertação	6
2	Revisão Bibliográfica	7
2.1	Setor/Mercado Elétrico Português	8
2.1.1	Princípios Regulatórios	8
2.1.2	Componentes tarifárias aplicadas aos utilizadores finais	9
2.1.3	Energia Reativa	11
2.2	Qualidade de Energia	12
2.2.1	Variações de Tensão	13
2.2.2	Sobretensões	14
2.2.3	Oscilações de Frequência	16
2.2.4	Desequilíbrio de Tensões	16
2.2.5	Distorção Harmónica	17
2.2.6	Continuidade de Serviço	17
2.3	Sistemas de Iluminação	18
2.3.1	Lâmpadas	19
2.3.2	Sistemas de Gestão de Iluminação	23
2.4	Sistemas de AVAC	25
2.4.1	Equipamentos das instalações de AVAC	25
2.4.2	Tratamento do ar	26
2.4.3	Classificação de Sistemas de AVAC	28
2.5	Instalação Fotovoltaica	30
2.5.1	Tipos de instalação	30
2.5.2	Componentes	31
3	Caso de Estudo	35
3.1	Tarifário Elétrico	35
3.2	Qualidade da Energia	36
3.2.1	Tensão nas fases	37
3.2.2	Corrente nas fases	37
3.2.3	Potências e Fator de Potência	37
3.2.4	Frequência	38
3.2.5	Taxa de Distorção Harmónica, THD	38
3.2.6	Taxa de Distorção Harmónica de Corrente, THDI	38
3.3	Iluminação	41

3.3.1	Qualidade da Iluminação	41
3.4	Sistema de AVAC	46
3.4.1	Equipamentos	46
3.4.2	Considerações gerais e recomendações sobre o estado do sistema	50
3.5	Sistema Fotovoltaico	50
3.5.1	Painel a implementar	51
3.5.2	Inversor	52
3.5.3	Dimensionamento de cabos e proteções DC	52
3.5.4	Dimensionamento de cabos e proteções AC	54
3.5.5	Investimento e Retorno	56
3.5.6	UPP vs UPAC	57
4	Conclusões e Trabalho Futuro	59
4.1	Conclusão	59
4.1.1	Tarifário Energético	59
4.1.2	Qualidade de Energia	59
4.1.3	Iluminação	59
4.1.4	AVAC	60
4.1.5	Sistema Fotovoltaico	60
4.2	Satisfação dos Objetivos	60
4.3	Trabalho Futuro	60
A	Painel designado para o Sistema Fotovoltaico	63
B	Inversor	65
	Referências	67

Lista de Figuras

1.1	Acumulação de CO ₂ e outros gases na atmosfera desde a Revolução Industrial.	2
1.2	Consumo de Energia em Portugal.	4
1.3	Percentagem de diferentes produções de Energia Renovável.	4
1.4	Percentagem de introdução de Renováveis na Europa.	5
2.1	Método para a obtenção de informação para a pesquisa bibliográfica.	7
2.2	Conjunto de Tarifas aplicadas pela ERSE.	10
2.3	Escalões para faturação da Energia Reativa mediante o Fator de Potência da Instalação.	11
2.4	Esquematização de uma instalação elétrica com um sistema fotovoltaico incorporado.	30
2.5	Curva característica de um painel solar.	32
3.1	Consumos durante 12 meses, Outubro de 2017 a Setembro de 2018.	35
3.2	Esquema de ligação para uma rede trifásica com neutro.	37
3.3	Tensões nas fases nos diferentes quadros.	39
3.4	Correntes nas fases nos diferentes quadros.	39
3.5	Fator de Potência.	40
3.6	Comparação dos valores para a frequência nos três pontos de medição.	40
3.7	Taxa de distorção harmónica.	40
3.8	Taxa de distorção harmónica nas correntes.	40
3.9	Vista das UTA's 2 e 12 na Gestão Técnica Centralizada.	48
3.10	Vista aérea da cobertura do centro comercial.	51
3.11	Rendimento dos painéis.	56
3.12	Comparação entre os lucros a 20 anos dos dois regimes de produção.	57

Lista de Tabelas

2.1	Escalões para faturação da Energia Reativa mediante o Fator de Potência da Instalação.	12
2.2	Comparação entre diferentes tipos de lâmpadas.	23
3.1	Comparação das comercializadoras.	36
3.2	Limites para harmónicos de corrente em percentagem à corrente de carga.	39
3.3	Comparação entre níveis de iluminância recomendados e os verificados no edifício.	44
3.4	Estudo de uma possível troca de lâmpadas.	46
3.5	Características dos chillers.	47
3.6	Características das bombas de circulação Chillers/Banco de Gelo.	48
3.7	Características elétricas do painel escolhido.	51
3.8	Coefficientes de Temperatura para o painel escolhido.	51
3.9	Investimento necessário para o sistema fotovoltaico.	57

Abreviaturas e Símbolos

A	Ampere
AC	Corrente Alternada
AT	Alta Tensão
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Conferência das Partes
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EN	Norma Europeia
FP	Fator de Potência
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GTC	Gestão Técnica Centralizada com Efeito de Estufa
GWh	Gigawatt-hora
ktep	kilo toneladas equivalente de petróleo
kWh	KiloWatt-hora
MAT	Muito Alta Tensão
min	Mínuto
MT	Média Tensão
MWh	MegaWatt-hora
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RTIEBT	Regras Técnicas das Instalação Elétricas de Baixa Tensão
s	Segundo
THD	Taxa de Distorção harmónica
UE	União Europeia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
V	Volt
W	Watt

Capítulo 1

Introdução

Com a revolução industrial veio o aumento desenfreado do consumo de energia [1]. Este aumento do uso de energia tem um vasto número de consequências negativas a nível ambiental, sendo a mais universal a produção de CO₂. Este gás é um dos principais contribuidores para o aumento do efeito de estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento global [2].

Estas preocupações com o meio ambiente levaram á criação do Protocolo de Quioto, um tratado com o objetivo de obrigar os países a diminuírem as suas emissões de gases de efeito de estufa. Tomando os níveis de emissões de 1990 como referência, os estados estavam obrigados a cortarem as mesmas em 8% até ao ano de 2012. Posteriormente foi feita uma adenda que estende o protocolo até 2020, aumentando as metas de redução para 18% [3].

De seguida surgem os Acordos de Paris, chegando-se a um acordo global para a diminuição das alterações climáticas. A Conferência das Partes que reúne anualmente os países Parte da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), decidiu parar o aumento da temperatura média global e limitá-lo abaixo dos 2 °C relativamente aos valores pré-industriais. Para além disto, também há o objetivo de continuar a fazer alterações até baixar o aumento de temperatura para os 1.5 °C. [4, 5]

Para além das preocupações ambientais, aumentar a utilização de energia implica aumentar os gastos. Na Europa, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% da energia total consumida [6], 50% quando falamos de eletricidade. Aliás, podemos dividir este consumo entre edifícios residenciais e os edifícios comerciais/públicos, com uma correspondência de 27% e 22% respetivamente [7]. Caso não se tomem medidas, estes números têm tendência para aumentar devido á constante expansão do sector [8].

Aqui entra a eficiência energética. Esta pode ser definida como a quantidade de cargas/serviços alimentados relativamente à entrada de energia. Ou seja, quantos mais serviços se conseguir alimentar com a mesma quantidade de energia, maior é a eficiência [7]. Partindo deste princípio, com os ajustes certos, é possível aumentar a eficiência de um dado sistema, o que significa reduzir os consumos e emissões, mantendo a qualidade dos serviços.

1.1 Enquadramento e Motivação

As alterações climáticas estão cada vez mais acentuadas e os danos causados são evidentes no dia a dia: tempestades, ondas de calor, cheias, incêndios, aumento do nível médio do mar e alterações nos ecossistemas que se afetam setores como a agricultura [9, 10]. Estas alterações são causadas pelas emissões de gases de efeito de estufa [11]. Estas emissões são provenientes das atividades económicas a nível mundial que dependem ainda, fortemente, de combustíveis fósseis. Gases como CO_2 acumulam-se na atmosfera (figura 1.1), criando o efeito de estufa que gera um aumento da temperatura média do planeta [12].

Toda esta situação exige preocupação por parte dos líderes internacionais, criando-se assim protocolos com metas de redução de emissões para os diversos países, sendo que um dos principais responsáveis pelas emissões é o consumo de eletricidade cuja a esmagadora maioria de produção é feita através de combustíveis fósseis. Para combater isto, a União Europeia estabeleceu o Pacote Europeu Energia/Clima que estabelece três grandes objetivos a serem cumpridos até 2020 [13]:

1. Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20%, em relação aos níveis de 1990;
2. Aumentar a quota de energias renováveis utilizadas para 20%;
3. Aumentar a eficiência energética em 20%.

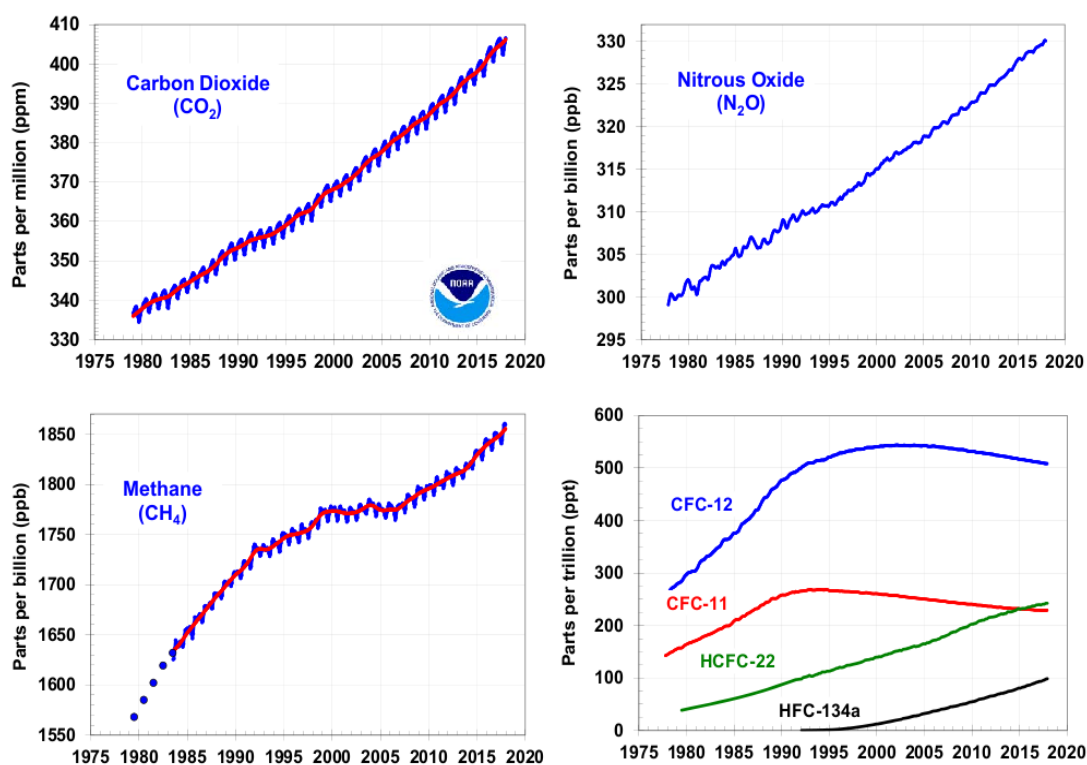


Figura 1.1: Acumulação de CO_2 e outros gases na atmosfera desde a Revolução Industrial.

Entretanto, em 2014, a estes objetivos acresceram novos alvos para 2030 [14]:

1. Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 40% (em relação aos níveis de 1990);
2. Aumentar a quota de energias renováveis utilizadas para, pelo menos, 27%;
3. Aumentar a eficiência energética em, pelo menos, 27%.

Todos os setores devem contribuir para que estas metas sejam atingidas: produção e distribuição de energia, transportes, edifícios, indústria e agricultura. Como é óbvio, há que olhar para o que possíveis medidas a implementar podem fazer, não só pelo ambiente, mas também a nível económico. Salientando o setor dos edifícios, ao aumentar a eficiência de um sistema, estamos a diminuir perdas e prejuízos, diminuindo as faturas e caso estejamos a falar de um edifício associado ao setor do retalho, estamos a falar em aumentar os lucros do negócio. E estas melhorias da eficiência já se fazem sentir.

” The global economy grew nearly 3 times faster than global energy demand during 2011-2016, in part because of energy efficiency improvements.” *REN 21*

Nos últimos anos temos visto um crescimento da economia global sem que isso se reflita na demanda por energia. Políticas como as implementadas pela UE têm permitido um aumento da eficiência em todos os setores [15]. Tecnologias no âmbito da eficiência energética podem ser uma das formas com melhor custo/benefício para reduzir os custos com energia, reduzir a poluição local do ar e mitigar as alterações climáticas.

Outro ponto a salientar é o consumo de combustíveis fósseis. A energia que se obtém com o uso deste tipo de combustíveis é não renovável, isto significa que, como as reservas deste tipo de matéria prima são finitas, a produção de energia também o será. Caso não se adotem alternativas, a economia mundial irá ressentir-se fortemente.

Em Portugal, os consumos energéticos são largamente assegurados por petróleo, gás natural e carvão, (figura 1.2) [16]. Apenas no setor da Energia Elétrica temos um cenário mais promissor. Contrariamente ao que acontece com os recursos fósseis, Portugal é um país com bastantes recursos naturais renováveis, como sol, vento, rios, ondas do mar e calor da Terra. Isto torna possível ter uma produção de eletricidade fortemente baseada em Fontes de Energia Renovável. Isto permite uma redução da utilização de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, da dependência externa e das emissões.

Em Portugal, devido, especialmente, às condições climáticas, podemos verificar que ao analisar os tipos de fontes para a produção de energia limpa, tem-se que as fontes Hídricas e Eólicas são as maiores produtoras (figura 1.3) [16]. São responsáveis por cerca de 80% da produção de energia elétrica.

Na figura 1.4 podemos ver que Portugal tem uma ótima cotação a nível europeu no que toca à percentagem de fontes renováveis utilizadas na produção de energia elétrica [16].

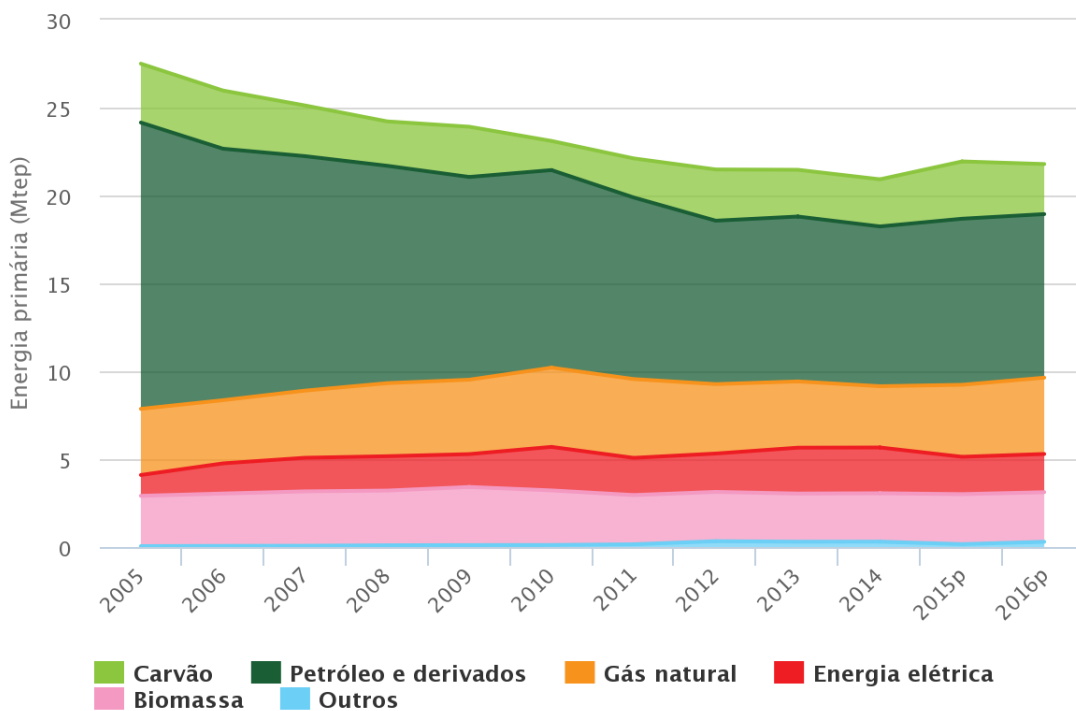


Figura 1.2: Consumo de Energia em Portugal.

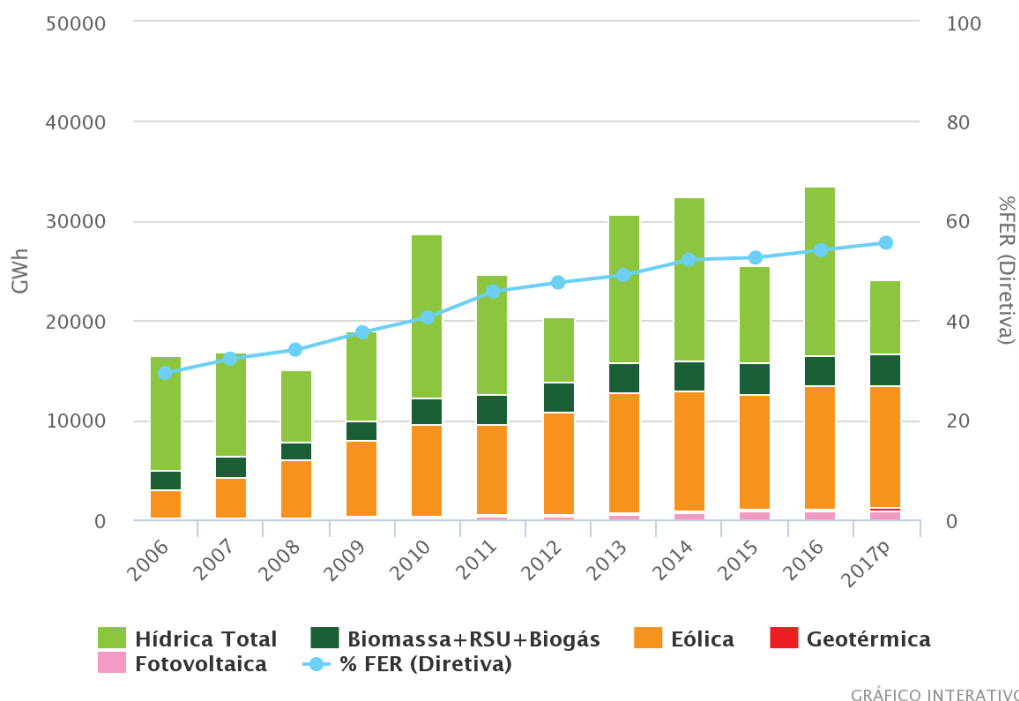


Figura 1.3: Percentagem de diferentes produções de Energia Renovável.

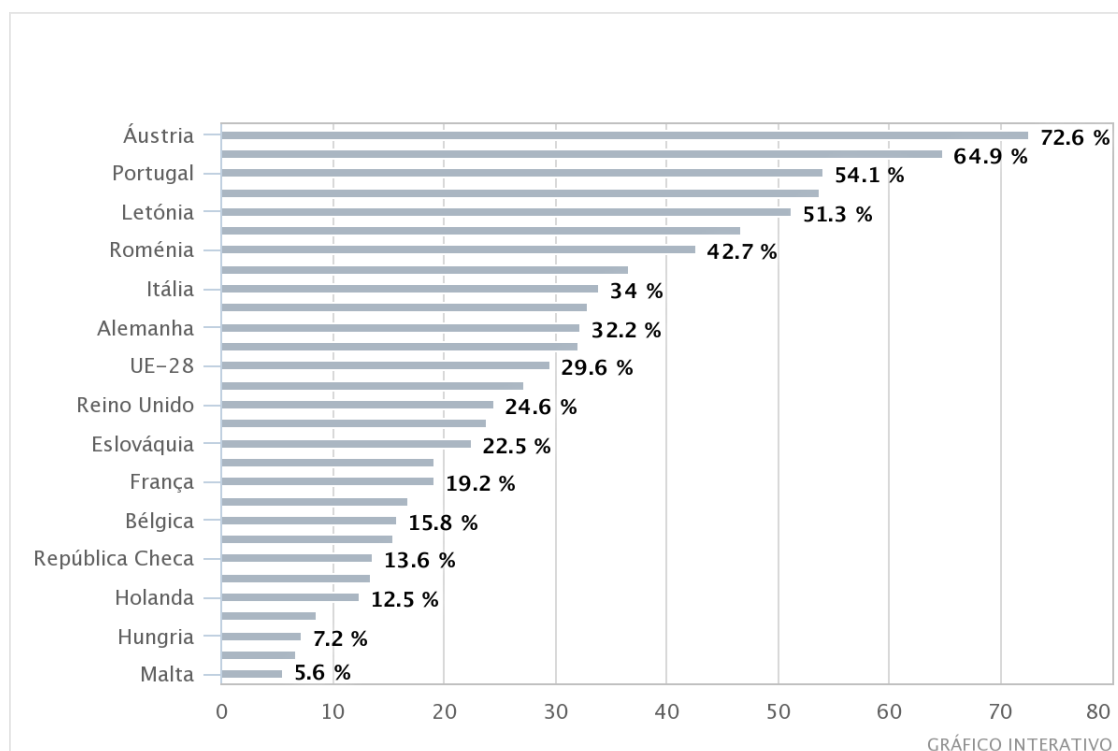


Figura 1.4: Percentagem de introdução de Renováveis na Europa.

1.2 Objectivos

Esta dissertação foi feita em ambiente empresarial, com a colaboração da Manvia, SA. Esta é uma empresa ligada ao ramo da manutenção, em diversas áreas: edifícios, indústria, ambiente e energia.

Surgiu então o desafio de realizar uma auditoria energética a um dos seus clientes, o Centro Comercial Alameda Shop & Spot. Após a auditoria e após analisados os dados recolhidos são apresentadas novas soluções com o objetivo de tornar o edifício mais eficiente, reduzindo emissões e os gastos com energia.

Definindo os parâmetros a analisar durante o projeto, surgem então os seguintes objetivos:

- Caracterização do centro comercial e dos seus diferentes espaços.
- Análise do tarifário atual de eletricidade e comparação com as ofertas atuais no mercado.
- Análise da qualidade da Energia, presença de harmónicos, picos de tensão, etc.
- Análise dos sistemas de iluminação instalados.
- Análise dos sistemas de AVAC.
- Elaboração de um projeto para instalação de uma microgeração Fotovoltaica.
- Análise económica das possíveis soluções apresentadas.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 3 capítulos. No capítulo 2, o mais extenso, é descrito o estado da arte e são apresentados trabalhos relacionados com as diferentes temáticas abordadas no documento: tarifários e qualidade de energia, sistemas de iluminação, sistemas AVAC, instalações fotovoltaicas. No capítulo 3, apresenta-se o caso de estudo e algumas soluções a problemas encontrados. Por fim, no capítulo 4 são expressos os principais resultados obtidos com uma análise à viabilidade das soluções apresentadas assim como as conclusões obtidas. É ainda descrito o que poderá ser feito em trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Nestes tempos de grandes mudanças no paradigma energético, tem-se tornado fundamental a abordagem ao tema da eficiência energética. Nos últimos anos têm surgido vários estudos e artigos, a nível mundial, muitos subsidiados por entidades governamentais, com o intuito de melhorar as técnicas de eficiência utilizadas nas mais diversas indústrias.

Antes da planificação e realização da auditoria e da proposta de soluções para fomentar a eficiência do edifício (Centro Comercial Alameda Shop & Spot), é necessário proceder a uma breve revisão bibliográfica acerca dos tópicos mais importantes para tal. É necessário estudar a situação atual mundial (mas principalmente Portuguesa) e aprofundar os conhecimentos sobre os tópicos que virão a ser desenvolvidos ao longo desta dissertação.

A literatura acerca da temática é extensa com vários artigos a definirem a eficiência energética como uma das principais formas de diminuir as emissões de gases com efeito de estufa e tentar desacelerar os efeitos do aquecimento global.

A necessidade de um conhecimento mais profundo sobre eficiência levou à análise de diferentes setores, chegando-se à conclusão que nos edifícios é onde mais melhorias se podem fazer e onde é possível diminuir os consumos mais significativamente.

Para compilar e selecionar dados e artigos sobre o assunto seguiu-se a seguinte metodologia:



Figura 2.1: Método para a obtenção de informação para a pesquisa bibliográfica.

Com recurso ao Engineering Village e Scopus foi feita uma vasta pesquisa sobre o estado da arte, tentando encontrar artigos sobre as várias vertentes da eficiência energética. Foram analisados os resumos, introduções e conclusões dos resultados da pesquisa e selecionados os mais promissores. De seguida seguiu-se uma análise mais profunda para perceber quais os artigos mais completos e citados pela comunidade científica.

Neste capítulo segue-se uma revisão bibliográfica acerca do tema da eficiência energética em edifícios, separando-o nas suas diferentes vertentes.

2.1 Setor/Mercado Elétrico Português

Os setores elétricos de cada país estão organizados de formas diferentes, levando a que cada um tenha o seu próprio modelo de tarifários elétricos. No entanto, é possível estruturar um modelo geral que, apesar de sofrer alterações de país para país, mantém de grosso modo os mesmos princípios.

2.1.1 Princípios Regulatórios

Um dos princípios regulatórios mais importantes e que deve estar na base de todo o modelo, é a **independência (ou autonomia)** regulatória, ou seja, a existência de um órgão regulador livre das influências de fontes externas na tomada de decisões. No caso Português essa instituição é a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). [17]

Para além deste existem mais princípios considerados de maior importância para a criação de modelos para tarifários: [18]

- **Sustentabilidade:** um modelo tarifário tem que garantir a recuperação total dos custos regulados, por forma a que o setor elétrico seja economicamente viável;
- **Equidade**, ou seja, não permitir a discriminação na alocação dos custos aos consumidores, isto é, deve cobrar-se o mesmo pela mesma prestação de serviço, independentemente do uso final da energia elétrica;
- **Eficiência Económica:** produzir o bem ao mínimo custo, sem descuidar os requisitos mínimos de qualidade, assim como promover o consumo eficiente;
- **Transparência:** tornar públicos critérios e procedimentos;
- **Estabilidade** nos processos de forma a existir o mínimo de instabilidades regulatórias para todas as partes envolvidas;
- **Simplicidade:** manter a simplicidade na metodologia e implementação dos sistemas tarifários;
- **Aditividade:** as tarifas apresentadas ao utilizador final devem ser resultantes da adição de todos os conceitos de custo aplicáveis;
- **Consistência:** dever ser mantida a consistência com aquele que é o sistema regulatório nacional.

Daqui retira-se que o modelo tarifário deve assentar em 4 aspetos fundamentais:

1. Garantir a recuperação dos custos regulados;
2. Ser eficiente;
3. Apresentar transparência e ser o mais simples possível;
4. Apresentar um sistema de aditividade para a composição das tarifas.

2.1.2 Componentes tarifárias aplicadas aos utilizadores finais

Em Portugal, a produção de energia elétrica está dividida em dois regimes [19]: Produção em Regime Ordinário (PRO) e Produção em Regime Especial (PRE). A PRO, diz respeito à produção de eletricidade com base em fontes não renováveis, enquanto que a PRE, recorre a energias renováveis e a sistemas de cogeração.

A distribuição desta energia é da responsabilidade da rede nacional de transporte (RNT), que tem ligação com a rede espanhola possibilitando trocas comerciais entre elas, através de linhas MAT. A interligação entre a RNT e as instalações dos consumidores, é feita pela EDP Distribuição e cooperativas [20].

Desde 2006, todos os clientes (quase 6,1 milhões em Portugal Continental), têm liberdade para escolher o seu fornecedor de energia, sendo que em regime de mercado, as principais empresas de comercialização em Portugal são a EDP Comercial, a Endesa, a Iberdrola e a União Fenosa.

Os comercializadores no mercado livre acordam com os seus clientes os preços da componente de energia, ou seja, o preço de mercado e de comercialização. As tarifas de acesso às redes são pagas por todos os consumidores finais, independentemente do comercializador, ou seja, são tarifas reguladas anualmente e fixadas pela ERSE. No mercado regulado, todas as tarifas são fixadas anualmente pela ERSE e o comercializador não tem poder de negociação com o cliente. O conjunto de tarifas aplicadas é então definido nas seguintes componentes [21]:

- Tarifa de Energia (TE): tarifa elementar responsável por recuperar os custos da atividade de compra e venda de energia elétrica e é composta por diferentes preços de energia ativa para quatro períodos horários:
 - Super Vazio, nas horas em que o consumo de energia elétrica é muito reduzido levando a uma tarifa mais reduzida;
 - Vazio, nas horas em que o consumo é reduzido mas superior ao das horas de super vazio, acontecendo o mesmo com a tarifa;
 - Cheia, nas horas em que o consumo é considerável, levando também a um aumento da tarifa;
 - Ponta, nas horas em que existe o maior consumo de energia elétrica, fazendo com que o valor da tarifa atinja o pico.
- Tarifa de Comercialização (TC) : reflete a margem de ganho do comercializador pelo seu serviço;

- Tarifa de Acesso às Redes (TA) : tarifa complexa que é composta por três tarifas simples distintas:
 - Tarifas de Uso da Rede de Transporte (TURT) : a aplicar pelo operador da rede de transporte ao operador da rede de distribuição que posteriormente aplica às entregas a clientes dos mercados livres e regulados. Permite recuperar os proveitos do uso das redes em Muito Alta Tensão (MAT) e Alta Tensão (AT);
 - Tarifa do Uso da Rede de Distribuição (TURD) : a aplicar pelo operador da rede de distribuição para o uso das redes de AT, MT e BT (baixa tensão).
 - Tarifa do uso Global do Sistema (TUGS):
 - * parcela I (UGS I) que é responsável por recuperar os custos com a gestão do sistema, apresentando um preço de energia sem diferenciação horária;
 - * parcela II (UGS II) que deve recuperar os custos decorrentes de medidas de política energética, ambiental e os Custos de Interesse Económico Geral (CIEG).

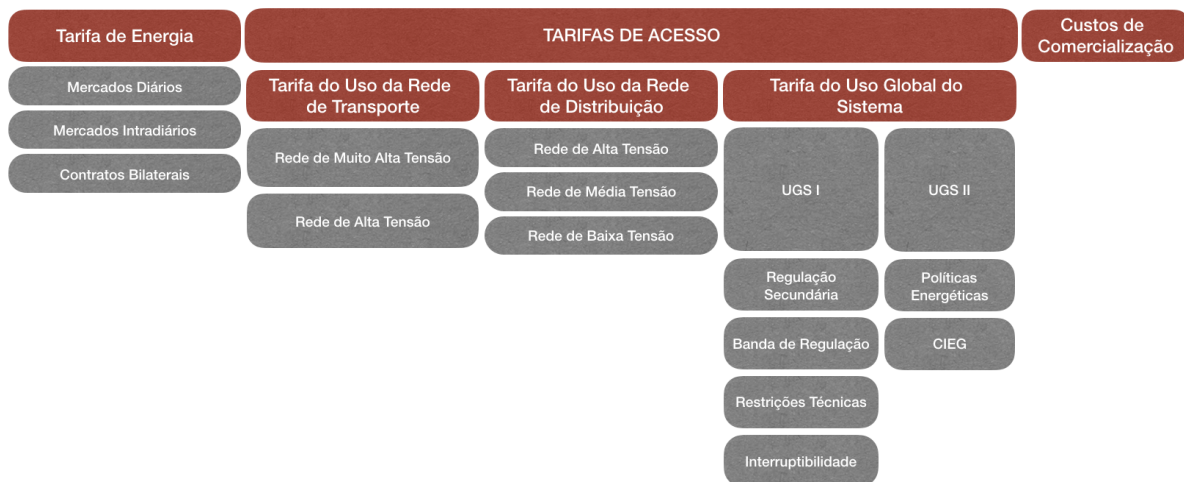


Figura 2.2: Conjunto de Tarifas aplicadas pela ERSE.

Nas instalações de MT há a hipótese de escolher um de três ciclos horários diferentes: Diário, Semanal e Semanal Opcional. O ciclo diário apresenta uma distribuição igual pelos 7 dias da semana, tornando-se a melhor escolha para uma instalação que apenas seja utilizada nos 5 dias úteis. Contudo, caso haja funcionamento das instalações aos fins-de-semana, a escolha mais vantajosa será a do ciclo semanal pelos benefícios existentes ao Sábado e Domingo. De salientar que os feriados nacionais também são considerados como períodos de vazio. Para estas instalações há ainda a considerar a energia reativa que é consumida ou fornecida à rede, o que trará os devidos ajustes na fatura.

2.1.3 Energia Reativa

Enquanto a energia ativa é necessária para produzir trabalho, como por exemplo, a rotação do eixo de um motor, a reativa é imprescindível para a produção do fluxo magnético indispensável ao funcionamento de certos equipamentos como transformadores e motores. Esta energia reativa mesmo não gerando trabalho, "ocupa espaço" nas linhas que poderia ser utilizado por mais energia ativa. Os principais problemas que a reativa traz são então [22][23]: aumento das perdas e das correntes na linha de transmissão; maiores quedas de tensão na linha de alimentação; sobreaquecimento dos cabos; aumento do trânsito das linhas. É por isto que o seu consumo é cobrado pelo fornecedor de energia e deverá ser controlado.

Para calcular a energia reativa a faturar utiliza-se o fator $\text{tg}(\varphi)$, que nada mais é que o quociente entre a energia reativa e a energia ativa, medidas no mesmo período de tempo. Quanto maior for $\text{tg}(\varphi)$ menor será o Fator de Potência e maior será a energia reativa a transitar nas redes. O Fator de Potência traduz o grau de eficiência do uso de sistemas elétricos. Valores elevados de fator de potência (próximos a 1,0) indicam uma utilização eficiente da energia, enquanto valores baixos demonstram o seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo sistema elétrico.

A 26 de Abril de 2010, foi publicado, em Diário da República, o Despacho nº 7253/2010, onde são definidas novas regras no que diz respeito à forma de faturação da energia reativa e onde foram definidos diferentes escalões com base no fator de potência das instalações (figura 2.3) [24]. O preço a pagar pela energia reativa varia de acordo com o escalão do consumidor (tabela 2.1) [22] [25].

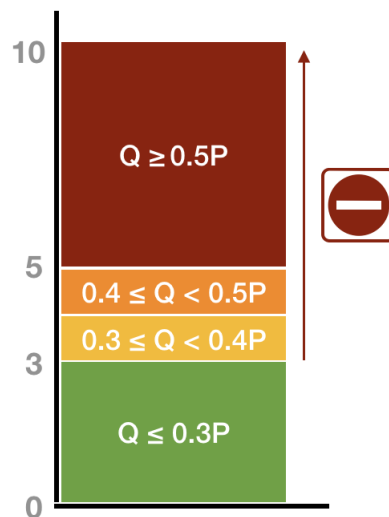


Figura 2.3: Escalões para faturação da Energia Reativa mediante o Fator de Potência da Instalação.

Para corrigir o fator de potência e, conseqüentemente, diminuir a presença de energia reativa utilizam-se na instalação, geralmente, baterias de condensadores. São uma boa escolha devido a terem um custo inferior em relação aos compensadores síncronos e aos conversores eletrônicos de

Tabela 2.1: Escalões para faturação da Energia Reativa mediante o Fator de Potência da Instalação.

	Descrição	Fator Multiplicativo
Escalão 1	Para $0,3 \leq \text{tg}(\varphi) < 0,4$	0,33 (a partir de 01.01.2012)
Escalão 2	Para $0,4 \leq \text{tg}(\varphi) < 0,5$	1,00
Escalão 3	Para $\text{tg}(\varphi) \geq 0,5$	3,00

potência, serem de simples instalação e de fácil manutenção, para além de apresentarem perdas relativamente baixas. A compensação em BT pode então ser feita de três formas distintas [26]:

- **Compensação Global:** a bateria de condensadores é ligada à entrada da instalação (QGBT). Aplica-se em casos onde a carga é estável e contínua, instalações cujos equipamentos não trabalham todos ao mesmo tempo. Este tipo de compensação, permite uma boa adaptação aos escalões de potência reativa necessária, quando usada uma compensação automática, permitindo manter o fator de potência acima do limite mínimo. Contudo, a potência reativa, nos cabos de alimentação dos quadros parciais, não é suprimida, pelo que as perdas e quedas de tensão se mantêm.
- **Compensação parcial:** utiliza várias baterias de condensadores que são ligadas aos barramentos dos quadros parciais da instalação. Aplica-se em instalações com diferentes regimes de carga, nos vários setores. Já existe uma redução da potência reativa nos cabos de alimentação dos vários quadros, o que contribui para a redução das correntes, das perdas e das quedas de tensão.
- **Compensação local:** as baterias ligam-se diretamente às entradas dos recetores indutivos (motores, etc.) Aplica-se quando existe uma carga com potência considerável comparativamente à potência total instalada. Este tipo de compensação permite reduzir a potência reativa e reduzir as correntes, perdas e quedas de tensão nos vários cabos que alimentam a instalação.

2.2 Qualidade de Energia

As principais perturbações que mais afetam a qualidade da energia elétrica são:

1. Cavas de tensão;
2. Sobretensões transitórias;
3. Flutuações de Tensão;
4. Oscilações de Frequência;
5. Desequilíbrio de tensões;
6. Distorção harmónica;
7. Continuidade de Serviço.

2.2.1 Cavas de Tensão

Entende-se por cava de tensão uma diminuição brusca do valor eficaz da tensão de alimentação para um valor compreendido entre 90% e 1% da tensão nominal ou declarada, seguida do seu restabelecimento depois de um curto intervalo de tempo. De acordo com a norma NP EN 50160:2001, a duração das cavas de tensão está compreendida entre 10 milissegundos e 1 minuto [27].

As cavas de tensão estão normalmente associadas a defeitos de isolamento nos sistemas de transporte e distribuição ou nas instalações do consumidor, sendo caracterizadas por amplitudes elevadas junto ao ponto de defeito. Em situações particulares, a ligação de máquinas de grande potência também pode dar origem a cavas de tensão, embora de duração muito superior e amplitude reduzida.

As cavas de tensão podem afetar diversos equipamentos [27]:

- **Motores de indução e motores síncronos:** nos motores de indução em que o binário é proporcional ao quadrado da tensão de alimentação, os efeitos notam-se de forma mais acentuada, sendo que as correntes causadas podem levar à atuação das proteções de alguns circuitos e à interrupção de funcionamento do processo. Já nos motores síncronos, o binário é proporcional à tensão de alimentação e a existências das cavas poderá levar à diminuição de velocidade do motores síncronos e perdas de sincronismo.
- **Equipamentos eletrónicos:** são dos mais afetados por este tipo de perturbação, salientando os variadores eletrónicos de velocidade que estão bastante presentes na indústria. As variações bruscas de tensão de alimentação provocam a interrupção do funcionamento do VEV; O aumento da corrente absorvida pode provocar o disparo das proteções de máxima intensidade; as variações de binário e de velocidade podem não ser toleráveis pelo processo produtivo, levando à interrupção de funcionamento do VEV. A duração das interrupções de funcionamento causadas por cavas de tensão pode ser minimizada em alguns modelos, através da função de arranque automático logo que a tensão é restabelecida.
- **Contactores:** Para o comando de motores de indução são usados, frequentemente, contactores AC, cuja bobina é alimentada em tensão alternada. Nestes casos, uma interrupção de alimentação conduz imediatamente à abertura do contactor e à interrupção de funcionamento do motor, evitando o seu arranque intempestivo após o restabelecimento da tensão de alimentação. Este tipo de contactores é bastante sensível a cavas de tensão de reduzida severidade, levando à interrupção dos processos de produção na sequência de fenómenos praticamente imperceptíveis pelos motores. De acordo com as especificações da norma IEC 255, estes contactores podem manifestar problemas de funcionamento quando sujeitos a variações de tensão que excedam 25% da tensão nominal, ou mesmo 10% em equipamentos mais antigos.
- **Iluminação:** Ao nível das lâmpadas de incandescência, as cavas de tensão provocam basicamente a diminuição da luminosidade. Algumas lâmpadas de descarga (exemplo: lâmpada

de vapor de sódio a alta pressão) podem extinguir-se, durante vários minutos, quando sujeitas a cavas de tensão de amplitude superior a 50%.

2.2.2 Sobretensões

As sobretensões são caracterizadas por um aumento significativo da tensão, durante um determinado período de tempo. De um modo geral, podem ser classificadas como sobretensões de baixa frequência, quando ocorrem à frequência do sistema eléctrico (50 Hz), ou como sobretensões de alta frequência, quando ocorrem a frequências muito superiores, podendo atingir os Mega Hertz

As sobretensões transitórias correspondem a variações extremamente rápidas do valor da tensão, com durações entre os micro-segundos e os segundos, podendo atingir valores de pico bastante elevados [27].

2.2.2.1 Origem

- **Descargas Atmosféricas**

A ocorrência de descargas atmosféricas é um fenómeno natural, com grande potencial destrutivo, podendo provocar a morte de pessoas e animais.

Uma descarga atmosférica será considerada direta quando atinge diretamente as infra-estruturas eléctricas, como linhas de transporte e distribuição, subestações, etc. O seus efeitos são normalmente bastante destrutivos, podendo-se verificar correntes de pico superiores a 25 kA, com impulsos de subida que podem atingir 100 kA/ μ s.

A impedância característica das linhas situa-se entre as poucas dezenas e algumas centenas de Ohm, causando sobretensões extremamente elevadas. As sobretensões que afectam as instalações do Cliente acabam por função da severidade e da distância a que se verificam as descargas, mas por norma terão uma amplitude bastante reduzida comparativamente com as sobretensões no ponto de descarga. Quando estas descargas ocorrem nas imediações dos condutores, verificam-se variações eletromagnéticas que podem induzir tensões em linhas aéreas próximas. Por exemplo, uma descarga atmosférica, com intensidade de 30 kA, a 100 metros de distância de uma linha AT, com 10 m de altura, pode originar uma sobretensão até 100 kV. É importante ter também em consideração que a circulação, através do solo, da corrente resultante de uma descarga atmosférica pode provocar uma elevação do potencial de terra. A elevação de potencial aumenta com a proximidade ao ponto de descarga [27].

- **Manobras nos sistemas de transporte e distribuição**

As ações de manobra dos sistemas de transporte e distribuição podem também elas originar sobretensões transitórias com elevada frequência que são depois amortecidas já no regime permanente. Dependem de fatores, como tipo de manobra (ligação ou desligação), elemento manobrado (linha, bateria de condensadores, bobina, transformador, etc.), dispositivo de comutação (disjuntor, fusível, etc.), carga do sistema, entre outros [27].

- **Defeitos de Isolamento**

A maioria das sobretensões que ocorrem à frequência do sistema (50 Hz) tem origem em defeitos de isolamento. Na sequência de uma interrupção do condutor de neutro, num sistema trifásico, podem surgir sobretensões de fase com valores próximos da tensão composta. Após o fenómeno transitório inerente a um curto-circuito entre fase e neutro, a corrente é limitada apenas pela impedância do sistema de alimentação e pela impedância dos condutores. Até que esta corrente de curto-circuito seja eliminada, podem verificar-se sobretensões, não superiores a 170% da tensão nominal, nas outras duas fases [27].

2.2.2.2 Consequências

As sobretensões mais severas podem simplesmente perturbar o funcionamento do equipamento sensível ou conduzir à destruição de alguns componentes eléctricos e electrónicos. Basicamente, as sobretensões podem afetar o equipamento a dois níveis [27]:

- os circuitos de comando e controlo do equipamento sofrem interferências electromagnéticas resultantes de sobretensões de alta frequência;
- o equipamento é sujeito à sobretensão directamente através do circuito de alimentação, podendo ser destruído.

A destruição de componentes eléctricos e electrónicos, na sequência de sobretensões, decorre principalmente nas seguintes situações:

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

2.2.2.3 Flutuações de Tensão

As flutuações de tensão podem ser definidas como variações cíclicas da tensão, ou como séries de variações relativamente rápidas e aleatórias, tipicamente entre 90% e 110% da tensão nominal [27].

O conceito de tremulação ou *flicker* é definido pelo European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) como a “sensação de instabilidade visual provocada por um estímulo luminoso, cuja luminância ou repartição espectral flutua no tempo”. Este fenómeno é causado pela

flutuação da tensão de alimentação nos sistemas de iluminação. Embora também seja visível em lâmpadas fluorescentes com balastro magnético, monitores e televisores, assume especial severidade nas lâmpadas de incandescência.

As flutuações de tensão são provocadas principalmente por cargas de grande potência, com regimes de funcionamento instáveis, tais como fornos de arco e equipamentos de soldar. Outros equipamentos, como motores de indução com cargas de binário pulsante, fotocopiadoras e equipamento de raios-X também podem dar origem a flutuações de tensão de menor amplitude [27].

2.2.3 Oscilações de Frequência

A estabilidade da frequência depende maioritariamente do equilíbrio entre a absorção e a produção de potência activa. Em redes fortemente interligadas, as variações dos valores de frequência são praticamente insignificantes, devido à grande capacidade de resposta das redes às variações de carga. Em Portugal continental não é de esperar oscilações de frequência significativas, uma vez que tantos os sistemas de transporte como os de distribuição são consideravelmente interligados e têm várias conexões à rede europeia. Em redes isoladas, de menores dimensões, são requeridos cuidados acrescidos para garantir que não existem desvios de frequência que ponham em causa a estabilidade do sistema eléctrico nem o funcionamento dos equipamentos dos consumidores [27].

2.2.4 Desequilíbrio de Tensões

Um sistema trifásico de tensões equilibrado é formado por três tensões de onda sinusoidal com amplitudes iguais e desfasamento de 120° entre si. Quando isto não se verifica, e as tensões apresentam amplitudes diferentes ou um desfasamento assimétrico, considera-se que o sistema é desequilibrado ou assimétrico. O desequilíbrio dos sistemas trifásicos de tensões, ao nível do transporte, é geralmente muito reduzido, não sendo por isso responsável por perturbações significativas do desempenho do equipamento [27].

2.2.4.1 Origem

Os sistemas trifásicos nas máquinas síncronas, nas centrais electro-produtoras, apresentam um equilíbrio praticamente perfeito e até os sistemas gerados por máquinas assíncronas podem ser considerados equilibrados. O que se verifica atualmente, é uma quantidade significativa de pequenas unidades de Produção Distribuída (PD), ligadas aos sistemas de distribuição. Algumas, ligadas directamente em BT, como os sistemas fotovoltaicos monofásicos. As elevadas impedâncias destes pontos podem causar desequilíbrios significativos. A grande causa de desequilíbrios é a distribuição assimétrica de cargas pelas fases. Em carga, a distribuição assimétrica dá origem a sistemas de correntes desequilibrados, que, por sua vez, provocam quedas de tensão diferentes nas fases e o desequilíbrio dos sistemas de tensões. Em BT, a generalidade das cargas são monofásicas, o que dificulta a manutenção do seu equilíbrio. Mesmo que seja garantida simetria em projeto, os ciclos de funcionamento das diferentes cargas podem conduzir a desequilíbrios significativos [27].

2.2.4.2 Consequências

O desequilíbrio nos sistemas trifásicos afetam, especialmente, o desempenho de equipamentos trifásicos como os motores de indução e transformadores. Podem-se verificar casos de sobreaquecimento de fontes de alimentação e transformadores e variações da potência debitada pelos motores AC [27].

2.2.5 Distorção Harmónica

A partir da década de 70, tem-se verificado um aumento cada vez maior de utilização de componentes de eletrónica de potência, como díodos, transístores e tirístores. Estes elementos, ao contrário das clássicas resistências, apresentam um comportamento não-linear, o que pode causar perturbações significativas nas formas de onda da corrente e da tensão [27]. Definindo os harmónicos de uma forma simplista, pode-se dizer que estes são tensões ou correntes sinusoidais que apresentam frequências múltiplas inteiras da componente fundamental (50 Hz), que caracterizam a distorção harmónica da tensão ou da corrente num determinado ponto do sistema eléctrico. O sistema de classificação dos harmónicos assenta em três fatores: ordem, frequência e sequência.

A distorção harmónica manifesta-se através do aumento do valor eficaz da corrente ou através da deformação das ondas de tensão e de corrente. Ao aumento do valor eficaz da corrente está associada uma subida da temperatura dos componentes eléctricos, que eventualmente significará uma degradação do isolamento, diminuição de rendimento e a incapacidade dos sistemas de protecção. A deformação da onda de tensão é especialmente prejudicial para o equipamento electrónico sensível, podendo causar perturbações do seu funcionamento. O impacto económico resultante destes fenómenos é refletido, por exemplo, no aumento dos custos energéticos, a presença de harmónicos leva a que seja necessário um aumento do valor de potência contratada, à diminuição do tempo de vida útil dos equipamentos ou à ocorrência de disparos intempestivos, levando à paragem de funcionamento.

2.2.6 Continuidade de Serviço

Em condições normais de exploração, a tensão no ponto de entrega a um Cliente deve apresentar valores eficazes próximos da tensão nominal ou declarada, no entanto, podem verificar-se pontualmente interrupções de tensão ou de alimentação. De acordo com a norma NP EN 50160:2001, são consideradas interrupções de alimentação as situações cuja tensão no ponto de entrega é inferior a 1% da tensão declarada, em pelo menos uma das fases. Existem vários indicadores para avaliação da continuidade e qualidade do fornecimento de tensão num sistema eléctrico, tendo em consideração o número e a duração das interrupções, indicadores como [27]:

- **ENF** (Energia não fornecida): Valor estimado da energia não fornecida, nos pontos de entrega, devido a interrupções de tensão, em Watt-hora;
- **TIEPI** (Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada): Quociente entre o somatório, dos produtos da potência instalada nos postos de transformação de serviço público e

particular pelo respetivo tempo de interrupção de fornecimento, e o somatório das potências instaladas em todos os postos de transformação de serviço público e particular da rede de distribuição, em minutos.

- **SAIFI** (System Average Interruption Frequency Index): ou Frequência Média das Interrupções do Sistema. É o quociente do número total de interrupções nos pontos de entrega, num determinado período, pelo número total de pontos de entrega.
- **SAIDI** (System Average Interruption Duration Index): ou Duração Média de Interrupções do Sistema. Calcula-se através do quociente da soma das durações das interrupções nos pontos de entrega, pelo número total de pontos de entrega nesse período. É apresentado em minutos.
- **CAIDI** (Customer Average Interruption Duration Index): ou Duração Média das Interrupções no Ponto de Entrega. É o quociente entre a soma, da duração de todas as interrupções num ponto de entrega durante um determinado período, e o número total de interrupções nesse ponto de entrega no mesmo período. Obtém-se um valor de minutos por interrupção.

2.3 Sistemas de Iluminação

Quando se constrói um novo edifício deve ser tido em conta o balanço de luz natural e tentar otimizar o seu uso. É necessário ter em conta todo o potencial para a utilização de luz natural e as mais recentes tecnologias de lâmpadas. Isto permitirá atacar o problema das reduções nos consumos dos edifícios, obrigatórios pelos esforços a serem feitos para minimizar os efeitos ambientais do uso de energia.

Cerca de 50% do consumo mundial pertence ao setor dos edifícios, residenciais e comerciais/públicos [6]. Cerca de 14% deste consumo é proveniente da iluminação artificial [28].

Existem vários estudos que demonstram a importância da presença de luz natural em edifícios. Luz influencia fortemente tanto o balanço energético no edifício bem como a atividade humana [29].

No entanto, devido às suas propriedades intrínsecas, nomeadamente a alteração de direção e intensidade ao longo do dia, é necessário ter algum controlo e ser capaz de guiar a luz através do espaço. Não controlar a forma como aproveitamos da luz solar pode até tornar o seu uso nocivo, no que toca à eficiência energética. Aumenta a temperatura da área e conseqüentemente os gastos com arrefecimento. Existe também a possibilidade de se criarem encadeamentos em certas alturas do dia. O que acontece muitas vezes é que para diminuir os gastos energéticos e manter os valores ideais de temperatura nos espaços descuidam-se o uso assertivo da luz exterior aumentando-se os gastos com a iluminação artificial.

Os principais fatores que influenciam o uso eficiente da luz natural estão relacionados às características do ambiente envolvente: conhecimento do clima na área, do tipo de edifício em questão e das estratégias possíveis para aproveitamento diurno da luz [30].

No final de contas, será sempre necessária iluminação artificial para manter o conforto e tornar possível a realização das tarefas de dia-a-dia, quer se fale de um edifício residencial ou comercial, neste sentido interessa estabelecer quais as opções mais indicadas para diferentes setores e funções.

2.3.1 Lâmpadas

A partir da descoberta e do desenvolvimento da lâmpada elétrica e das luminárias, foi possível obter níveis adequados de iluminação artificial para o desenvolvimento de tarefas visuais, com conforto e satisfação. A iluminação artificial através do uso de lâmpadas elétricas é essencial à vida moderna. Nenhum de nós consegue imaginar um mundo sem iluminação. No entanto, num mundo sustentável, é importante reduzir custos e poupar recursos. Neste sentido, devemos ter em atenção que na iluminação existe normalmente um elevado potencial de economia de eletricidade e devemos adotar procedimentos que resultem em menor consumo de energia. Para tal, torna-se necessário o conhecimento dos vários tipos de lâmpadas existentes no Mercado e das suas várias características.

2.3.1.1 Características das Lâmpadas

Nesta secção são apresentadas as grandezas e parâmetros que permitem avaliar a iluminação em geral, e mais concretamente os diversos tipos de lâmpadas que serão apresentadas posteriormente. Então, segundo [31] as grandezas mais relevantes para a classificação de lâmpadas são:

- **Feixe Luminoso** - a quantidade total de luz emitida por segundo por uma fonte luminosa e a sua unidade é o lúmen (lm). É a energia radiada por segundo sob a forma de luz em função da sensibilidade do olho humano.
- **Eficiência Luminosa** - relação entre o fluxo luminoso e a Potência consumida pela lâmpada (lm/W).
- **Classe de eficiência Energética** - classificação com base na eficácia energética. É feita de forma decrescente da classificação A até à G.
- **Índice de Restituição de Cor** - característica que quantifica o efeito da radiação emitida por uma lâmpada sobre o aspeto cromático do(s) objeto(s) iluminado(s). Assume valores entre 0 e 100.
- **Temperatura de Cor** - está relacionada com a tonalidade de cor emitida pela lâmpada. Quanto mais elevada foi a temperatura da fonte, mais “fria” parecerá ser a luz emitida. Pelo contrário quanto mais baixa foi a temperatura de cor, maior será a impressão de luz “quente”. É medida em Kelvin (K)
- **Tempo de Vida Útil** - número de horas esperado de funcionamento da lâmpada, à tensão estipulada.

2.3.1.2 Lâmpadas Incandescentes

Neste tipo de lâmpadas, a luz é produzida por um filamento de tungsténio aquecido pela passagem de corrente elétrica alternada ou contínua. Estas lâmpadas são fortemente afetadas pelo efeito de Joule e, como tal, apenas uma pequena parte da energia irradiada é libertada sob a forma de luz. As lâmpadas incandescentes têm cada vez menos utilização na UE devido à sua baixa eficiência e curto tempo de vida útil. Devem ser evitadas a nível industrial e/ou público, a não ser que sejam recomendadas por motivos técnicos.

2.3.1.3 Lâmpadas de Halogéneo

Estas apresentam um rendimento superior às anteriores, uma luz mais branca, brilhante e uniforme com uma maior vida útil, mantendo também uma restituição de cores muito boa. Funcionam com base no mesmo princípio das lâmpadas incandescentes convencionais, mas foram aperfeiçoadas com a introdução de gases do grupo halogéneo (flúor, iodo ou bromo). Neste tipo de lâmpadas, os gases vão se combinar com as partículas de tungsténio desprendidas do filamento. Esta combinação, somada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas se depositem de novo no filamento, criando o ciclo regenerativo do halogéneo.

2.3.1.4 Lâmpadas de Descarga

A luz é produzida através da radiação emitida pela descarga elétrica de uma mistura gasosa, composta por gases inertes e vapores metálicos, que se encontra num tubo de descarga. Nas extremidades deste tubo existem eletrodos que formam a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação. Numa lâmpada de descarga o metal responsável pela emissão de radiação encontra-se, à temperatura ambiente, em estado sólido ou líquido. Ainda mais, o gás inerte que está no tubo é isolante o que torna necessário que haja um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. Isto faz com que sejam necessários equipamentos auxiliares como arrancadores e balastos. A classificação destas lâmpadas segue abaixo, dividido em dois grandes grupos, consoante o nível de pressão no interior do tubo.

- **Alta pressão - luz mista:**

As lâmpadas de luz mista, são uma combinação de uma lâmpada de vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, isto é, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. O filamento controla a corrente no tubo de arco e contribui com a produção de 20% do total do fluxo luminoso produzido. A combinação da radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca difusa, com uma aparência de cor agradável. A sua eficiência é superior à da lâmpada de incandescência, variando entre os 20 e 30 lm/W, sendo por isso muito utilizada como alternativa a esta última. A principal vantagem é o longo tempo de vida útil (2000 horas). Permite ligação direta à rede, ou seja, dispensa acessórios. Este tipo de

lâmpada, que apresenta diversas formas e cores, é usada em iluminação de estabelecimentos comerciais e montras.

- **Alta pressão - vapor de mercúrio:**

Estas lâmpadas, apresentam um tubo de descarga transparente, inserido por dentro do vidro, revestido internamente com uma camada de "fósforo". O tubo de descarga contém vapor de mercúrio e argon a alta pressão. O tubo de descarga é de quartzo para suportar temperaturas superiores a 34°C e evitar absorção da radiação ultravioleta emitida pela descarga. A descarga produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. Características como um tempo de vida útil mais longo e maior eficiência em relação às lâmpadas incandescentes e de luz mista fizeram com que as lâmpadas a vapor de mercúrio se tornassem uma opção a considerar para iluminação interna e externa. No entanto, estas lâmpadas têm vindo a ser substituídas pelas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão devido à presença de mercúrio e pelo seu rendimento inferior. Este tipo de lâmpada é utilizado em sistemas de iluminação de exteriores, em especial na iluminação pública urbana.

- **Alta pressão - vapor de sódio:**

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão, é constituída de um tubo de descarga com um elétrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura mecânica, sob vácuo, no interior de um bulbo de vidro. Nas lâmpadas convencionais, o tubo de descarga contém vapor de sódio, vapor de mercúrio e xénon, que atua como gás de partida, gerando calor para vaporizar o mercúrio e o sódio. O elétrodo é semelhante ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. Estas lâmpadas apresentam, em geral, um índice de reprodução de cor relativamente baixo, mas uma eficácia luminosa elevada e tempo de vida útil longo. Outro fator importante é que o fluxo luminoso emitido permanece praticamente constante durante toda sua vida. Estas características fazem com que estas lâmpadas sejam usadas na iluminação pública e industrial, substituindo as de mercúrio de alta pressão.

- **Alta pressão - vapor de mercúrio de iodetos:**

Estas lâmpadas foram desenvolvidas para resolver o problema das lâmpadas de vapor de sódio com baixos índices de restituição de cores. Assim, introduziu-se no tubo de descarga uma mistura de iodetos de sódio, índio e tálio, para além de mercúrio. O resultado é uma fonte de luz com uma razoável capacidade de restituição de cores. A nível molecular, é possível a introdução de uma mistura de cloreto e iodeto de estanho, o que permite produzir uma lâmpada com a capacidade ideal de restituição de cores e um rendimento luminoso elevado. Estas lâmpadas podem ser utilizadas em todas as circunstâncias, mesmo interiores, mas a sua principal desvantagem é o custo elevado.

- **Baixa pressão - Fluorescentes:**

Lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio de baixa pressão. A passagem da corrente elétrica através do vapor de mercúrio origina a emissão de radiação ultravioleta (radiação UV), que é então convertida em luz visível pela camada de fósforo que reveste a parte interna do tubo exterior da lâmpada. As características colorimétricas (temperatura de cor, reprodução de cores) e a eficácia da lâmpada são determinadas pela composição e espessura do pó fluorescente. Estas características trazem uma redução do tamanho das armaduras e um melhor controlo sobre o feixe de luz, para além de um aumento no rendimento. Estes fatores fazem com que estas lâmpadas sejam muito usadas em espaços comerciais e edifícios públicos em como instalações industriais e mesmo instalações domésticas (cozinhas).

- **Baixa pressão - vapor de sódio:**

São semelhantes na sua constituição e funcionamento às lâmpadas fluorescentes, com algumas diferenças, como o uso de sódio em vez de mercúrio. Esta troca leva a que seja mais difícil e demorado o arranque, uma vez que o sódio à temperatura ambiente é sólido. Esta dificuldade é ultrapassada com a ajuda de um gás inerte e uma tensão de arranque elevada. As lâmpadas de vapor de sódio produzem luz visível diretamente, sem necessidade de qualquer transformação. Possuem um rendimento luminoso muito elevado e uma duração de vida muito longa, pelo que constituem a fonte de luz mais eficiente e económica. A desvantagem destas lâmpadas centra-se na sua restituição de cores que é muito pobre, o que praticamente impede o seu uso em interiores. Já no exterior têm vindo a ser substituídas pelas lâmpadas de sódio de alta pressão.

2.3.1.5 Lâmpadas de Indução

Este tipo de lâmpada não utiliza elétrodos e a luz é obtida por uma descarga de gás gerada por magnetismo. É criado um campo magnético em torno de um tubo de vidro que contém o gás. A descarga induzida pela bobina forma um circuito fechado que provoca a aceleração dos eletrões livres. A sua transição para um nível energético inferior emite radiação ultravioleta, que será transformada em luz visível à medida que passa pelo revestimento de fósforo sobre a superfície do tubo. As principais vantagens deste equipamento são o longo tempo de vida útil sem manutenção, a sua elevada eficácia luminosa, a alta restituição de cor, bem como as opções de temperatura de cor (2.700 K a 6.500 K).

No que diz respeito as desvantagens, podem-se referir o seu custo elevado associado, a forma e dimensão geralmente nada compacta das lâmpadas, a utilização de mercúrio na lâmpada e o facto de não ser indicada para áreas muito quentes. As lâmpadas de indução podem ser boas opções para aplicações cuja manutenção é bastante complicada e cara, como áreas industriais de pés-direito muito elevado e iluminação pública de vias e túneis.

2.3.1.6 Lâmpadas LED

A designação LED vem de Light Emitting Diode. A tecnologia assenta então num díodo que emite luz através de luminescência. A luz emitida depende da composição do material semicon-

Tabela 2.2: Comparação entre diferentes tipos de lâmpadas.

Lâmpada	Temperatura (K)	Reprodução de cor (%)	Eficiência (lm/W)	Classe Energética	Vida Útil (h)
Incandescente	2700	100	7 a 15	E	1000
Halogéneo	3000	100	15 a 25	C/D	2000 a 4000
Alta Pressão - Luz Mista	1700 a 5000	50 a 60	20 a 28	B a C	2000
Alta Pressão - Mercúrio	3800 a 4100	40 a 60	36 a 60	B	10000 a 12000
Alta Pressão - Sódio	1900 a 2500	30 a 85	66 a 130	A	12000 a 24000
Mercúrio de Iodetos	3000 a 7000	70 a 95	65 a 120	A+ a A	3000 a 9000
Fluorescentes	2700 a 5000	63 a 98	58 a 104	A++ a B	7500 a 12000
Baixa Pressão - Sódio	1800	quase nula	100 a 200	A++ a A+	12000 a 16000
Indução	2700 a 6500	>80	75 a 85	—	50000 a 100000
LED	2700 a 4000	80 a 85	60 a 130	A++ a A	35000 a 100000

dutor utilizado e a combinação de LEDs azuis, verdes e vermelhos permite a produção de luz branca, embora já exista um LED branco, cujo princípio de funcionamento é semelhante ao das lâmpadas fluorescentes, pois quando existe fósforo depositado no material semiconductor de um LED ultravioleta, a conversão é realizada para luz branca.

Estas lâmpadas possuem rendimento luminoso muito bom e podem emitir luz de variadas cores, apresentam uma longa duração de vida e permitem diferentes soluções de configuração, o que possibilita a substituição de outros tipos de lâmpadas pouco eficientes, sem necessidade de alterar as luminárias ou utilizar aparelhos auxiliares.

Na tabela 2.2 é possível verificar uma breve comparação entre as lâmpadas LED e os restantes tipos [32].

2.3.2 Sistemas de Gestão de Iluminação

Uma utilização eficiente da iluminação assenta numa conjugação de fatores, como a quantidade e qualidade de luz necessárias, a fonte de luz utilizada, as tarefas visuais a serem executadas, a produtividade exigida assim como as condições de segurança requeridas. Por forma a reduzir despesas é necessário ter um bom conhecimento dos produtos presentes no mercado e a sua eficiência. É preciso também saber fazer um uso racional da iluminação existente através de técnicas e, adicionalmente, implementar métodos de gestão de iluminação mais eficazes [33].

2.3.2.1 Gestão horária

A gestão horária pode ser aplicada através da utilização de automáticos de escada, de interruptores horários ou com a implementação de uma gestão técnica centralizada.

Os automáticos de escada, controlam o circuito de iluminação através de um impulso comandado por um botão de pressão, em que o desligar é automático. O tempo após o qual a iluminação é desligada é predefinido, com base nas características do local. Este tipo de solução pode aplicar-se em escadas, *halls*, corredores, casas de banho, arrecadações, locais onde a presença contínua de pessoas é pouco frequente. Por norma têm ainda um contacto de marcha forçada, que não passa de um interruptor, que permite a ativação permanente caso se justifique.

Os interruptores horários podem ser de dois tipos: analógicos ou digitais. Têm como função controlar a iluminação de um determinado espaço, todos os dias, a determinadas horas. A programação é mais completa nos digitais, que permitem mais opções de programação, nomeadamente semanal/anual e em diferentes períodos de tempo/dia. São normalmente instalados a par com outros sistemas como interruptores simples e sistemas de gestão centralizada e as principais áreas de aplicação são, por exemplo parques de estacionamento e iluminação das vitrines de lojas.

Os sistemas de Gestão Técnica Centralizada possibilitam uma gestão adequada ao monitorizarem, controlarem e gerirem as várias instalações existentes no edifício. A ideia por detrás de um sistema destes é otimizar o funcionamento dos equipamentos sem descuidar as necessidades de conforto de cada utilizador. Os serviços de manutenção têm constante acesso a estes sistemas e recebem avisos em caso de avaria para que sejam tomadas as medidas apropriadas. O sistema de GTC inclui um software, que permite coordenar as diversas instalações existentes, e encontra-se, geralmente, em grandes edifícios de serviços. Estima-se que estes sistemas permitam poupanças entre 15 e 20% [33].

2.3.2.2 Gestão com base em movimento

Os sensores de presença e movimento, como o nome indica, têm a função de ligar a iluminação automaticamente quando for detetado movimento no espaço. As luzes são desligadas após um período de tempo (pré-determinado) em que não hajam movimentos. Este método para controlo da iluminação permite boas reduções nas faturas elétricas, mas não só. Também ajudam a melhorar o conforto no dia-a-dia das pessoas, porque previnem a procura dos interruptores no escuro ou quando se tem as mãos ocupadas. Também traz benefícios na segurança, já que quando alguém entra na zona de deteção, ao ligar as luzes pode, por exemplo, prevenir acidentes em escadas. Existem neste momento no mercado 3 tipos de sensores de presença (ou detetores volumétricos): infravermelhos passivos, que detetam a presença e/ou movimento através do calor libertado pelos ocupantes; de ultrassons, que utilizam as variações das ondas sonoras, eles emitem impulsos ultrassónicos e quando um objeto reflete estes impulsos, o eco resultante é recebido e convertido num sinal elétrico; bi-volumétricos ou de tecnologia dupla, que combinam as duas tecnologias anteriores e são, normalmente, mais eficazes a evitar "falos positivos"[33].

2.3.2.3 Gestão com base em presença de luz

A gestão da iluminação artificial em função da luz natural existente é igualmente muito importante para a eficiência energética. A necessidade de luz artificial varia consoante a hora do dia e a distância às entradas de luz natural (janelas, por exemplo). Nos locais próximos dessas entradas, ao longo do dia, as necessidades de iluminação variam desde não ser necessário de toda a iluminação artificial até à sua plena utilização. Assim, podem ser adotadas várias estratégias, de que se destacam a comutação on/off e a regulação contínua do fluxo luminoso [33]

- **Comutação On/off**

Em ambientes com boa luz natural, onde existem várias janelas ou clarabóias será interessante o uso de comutação on/off. Como a iluminação artificial só será necessária ao início e final do dia podemos ter um sistema que quando considera a luz natural suficiente ou insuficiente vai ligando ou desligando, progressivamente, as lâmpadas. Isto pode ser feito com base na distância às janelas, à medida que a iluminação natural diminui/aumenta.

Os principais inconvenientes deste método são a difícil configuração, pois está dependente das diversas características do espaço, desde número e tamanho das janelas à sombra feita por elementos exteriores, bem como a regulação ser sempre feita da mesma forma, independentemente da altura do ano.

- **Regulação do Fluxo Luminoso**

Por outro lado, em ambientes com níveis baixos de iluminação natural, um simples comando ligas/desligar não será eficaz, pois haverá a necessidade de manter uma constante ou quase constante iluminação artificial. Nesta caso é recomendável uma regulação contínua baseada no nível de iluminância interior, ou seja, aumentar ou diminuir a intensidade luminosa artificial com base na luz que existe no espaço.

Ao aplicar balastros eletrónicos com regulação de fluxo podemos reduzir o fluxo até aos 0%, caso seja necessário, para aumentar a poupança. Este sistema de regulação contínua deverá ser complementado com um detetor de presença ou um interruptor horário para evitar que as luzes se mantenham acesas sem que haja ninguém para as utilizar.

2.4 Sistemas de AVAC

Segundo [7] cerca de 40% do consumo de energia é atribuído a edifícios, sendo que dentro desse consumo, em edifícios comerciais, quase metade é da responsabilidade dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) [34]. Estes sistemas são usados para controlar as condições ambientais do interior dos espaços, ao nível da temperatura, humidade e ventilação. Como são tão importantes para manter o nível de conforto e sendo um dos principais consumidores de energia, há que conhecer a classificação dos sistemas no mercado, de forma a garantir que são feitas as escolhas mais acertadas para o projeto. Este conhecimento é a chave para um correto dimensionamento e para melhorar o funcionamento dos sistemas já instalados. Uma otimização das técnicas de controlo dos equipamentos de AVAC e manutenção para deteção de falhas/substituição de componentes, pode resultar em significativas reduções dos seus consumos energéticos.

Estes sistemas podem variar significativamente de dimensão e apresentar diferentes funções, equipamentos e formas de funcionamento.

2.4.1 Equipamentos das instalações de AVAC

- **Chiller**

Estão encarregues da produção de frio. São responsáveis pelo arrefecimento de água que será posteriormente utilizada para arrefecer o ar ou equipamentos conforme as necessidades do edifício. São equipamentos com alta eficiência e fiabilidade, demonstrando uma boa relação de custo/benefício [35].

- **Caldeira**

Está encarregue da produção de calor. Através da queima de um combustível como o gás natural, por exemplo, consegue aquecer um fluido. A escolha desse fluido dependerá da temperatura necessária para o sistema. Poderá escolher-se entre água a baixa pressão ou até um fluido térmico. Este fluido quente percorre toda a rede de tubagem até chegar aos diversos elementos emissores de calor presentes no sistema. As caldeiras são projetadas de forma a transferir o calor para o sistema de aquecimento central e podem igualmente fornecer água quente sanitária instantânea [36].

- **Bomba de Calor**

Têm um funcionamento semelhante ao das máquinas frigoríficas ou sistemas de ar condicionado, ao transferirem energia térmica de um local para outro. A principal diferença é que são capazes de funcionar no sentido contrário, ou seja, podem servir também para aquecimento de um espaço. Simplificando, todas as bombas de calor são sistemas AC, mas nem todos os AC são bombas de calor, para isso necessitam de ter instalada uma válvula inversora [36, 37].

- **UTA**

Uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA), como o próprio nome indica, é responsável pelo tratamento do ar, do ar que é fornecido ao edifício através da rede de condutas de ventilação, que tanto distribuem o ar condicionado como retornam o ar de extração. Estas unidades podem fazer este tratamento através de um conjunto de processos: filtração; aquecimento e/ou arrefecimento; humedificação e/ou desumidificação [38].

O equipamento é, na sua essência, uma grande caixa metálica que contém um ventilador mecânico, um elemento de aquecimento e arrefecimento e uma secção de filtração. Estas unidades podem ter muitos mais e variados componentes, dependendo da complexidade e, especialmente, dos requisitos do edifício a que se destina. As serpentinas existentes nas UTAs utilizam água quente fornecida por uma caldeira central e água fria a partir de um chiller central. A UTA faz circular o ar interior, de forma a que este entre em contacto com as serpentinas de aquecimento e arrefecimento e, em seguida, encaminhando-o através de condutas de ar [38, 39].

2.4.2 Tratamento do ar

Uma das principais funções dos sistemas de AVAC é o tratamento do ar interior, procurando sempre o controlo da temperatura interior do ar ambiente; o controlo da humidade do ar ambiente;

a eliminação das diversas impurezas do ar, como odores; a renovação do ar ambiente, para limitar a quantidade de CO₂ no ar [38, 39].

As unidades de tratamento do ar assentam num aglomerado de componentes, que convém serem abordados para que se perceba como otimizar o funcionamento destes tipo de equipamentos. Na mesma linha de pensamento, será também interessante abordar os recuperadores de calor e os variadores de velocidade, ambos ferramentas muito importantes para as reduções do consumo de energia primária e, conseqüentemente, das emissões de GEE.

Ventiladores

Por norma, as unidades de tratamento de ar empregam um ventilador centrífugo, alimentado por um motor elétrico de corrente alternada, para movimentar o ar. O ventilador pode trabalhar a uma única velocidade, ou várias velocidades pré-estabelecidas. Pode ainda ser de velocidade variável permitindo uma ampla gama de caudais de ar. As grandes unidades de tratamento de ar podem apresentar ventiladores múltiplos, geralmente, colocados no final de cada UTA e no início da conduta de insuflação. Estes são frequentemente reforçados por ventiladores colocados nas condutas de extração de ar, empurrando o ar para a UTA. Daqui partem as designações de ventiladores de insuflação e de extração [39].

Baterias de Aquecimento/Arrefecimento

Variando de projeto para projeto, uma UTA deverá ser capaz de fornecer aquecimento, arrefecimento ou ambos para alterar a temperatura do ar por ela tratado. A temperatura que sai da UTA terá de estar fixa num determinado valor para garantir o conforto dos ocupantes do edifício, este valor é denominado por *set-point*. Se a temperatura do ar estiver abaixo do *set-point* a bateria de aquecimento vai entrar em funcionamento e aumentar a temperatura até ao valor pré-definido. Caso a temperatura do ar esteja acima do *set-point* será a vez da bateria de arrefecimento entrar em funcionamento de forma a baixar a temperatura ambiente até ao valor desejado [39].

Filtros de Ar

Equipamentos que têm o objetivo de reter os diversos tipos de impurezas, sólidas, líquidas ou até gasosas que existem no ar atmosférico. Isto permite manter a UTA limpa e também o interior do edifício. Em cada banco de filtros existe um sensor de pressão que permite controlar quão sujos estão e avisar a central de comando quando é atingido o limite para o seu correto funcionamento [39].

Humidificadores

Muitos edifícios têm a necessidade de controlar os níveis de humidade realtiva do ar. Para este efeito, a UTA tem, à saída, um sensor de humidade. O que este sensor faz é garantir que a humidade do ar expelido se encontra de acordo com o *set-point* para este parâmetro. Caso a humidade seja inferior a esse valor, será necessário introduzir humidade para o ar usando um humidificador. Este

equipamento será, normalmente, a vapor de água ou de pulverização [39].

Recuperador de Calor

Os sistemas AVAC utilizam uma grande quantidade de energia térmica, para compensar as extrações de ar interior. De forma a reduzir o consumo do sistema, é possível implementar sistemas de recuperação de calor: controlo de entalpia; recuperador de calor rotativo; recuperador de calor de placas.

No controlo da entalpia do ar exterior, os equipamentos controlam as quantidades do ar exterior, de expulsão e conseqüentemente da mistura nos sistemas de climatização. Um outro processo de recuperação de energia consiste na aplicação de um permutador de calor rotativo, transferindo energia do ar de extração para o ar novo [39].

Variador de Velocidade

Os variadores de velocidade permitem reduzir o consumo de energia ao operarem a velocidades variáveis ao longo do tempo. A sua velocidade varia de acordo com a carga. Sem a aplicação destes dispositivos, os ventiladores e bombas funcionam a todo o gás em todos os momentos, consumindo mais energia do que seria necessária na maioria das vezes. Um variador permite abrandar o ventilador ou bomba quando a carga exigida diminui também [40].

Os variadores de velocidade AC utilizam menos energia do que outra qualquer alternativa de funcionamento a velocidade fixa. Quando se fala na sua aplicação em ventiladores e bombas, a poupança energética pode chegar até aos 50% [41].

2.4.3 Classificação de Sistemas de AVAC

2.4.3.1 Sistemas Tudo-Ar

Neste tipo de instalação, o ar é aquecido/arrefecido usando uma UTA, para que possa ser distribuído para os locais a climatizar, nas condições adequadas. É aplicado a edifícios onde é necessário um controlo individual das condições do ar de divisão para divisão (hospitais, escolas, etc) ou onde é exigido um controlo rigoroso da humidade, temperatura e qualidade do ar (salas de operações, bibliotecas, etc). Ao longo do tempo foram sendo criados vários tipos de sistemas Tudo-Ar: Volume Constante (VAC); sistemas com uma só zona ou com várias zonas; sistemas com volume de ar variável (VAV); sistemas com duas tubagens [42].

Os sistemas do tipo Volume de Ar Constante, têm caído em desuso devido aos seus elevados consumos de energia. Nos sistemas a Volume de Ar Variável, a temperatura do ar insuflado é constante, enquanto o caudal de ar insuflado é feito de forma a garantir a remoção da carga térmica existente, com essa variação do caudal a ser feita nas unidades terminais. O caudal de ar aspirado deve ter em conta as flutuações do caudal de ar insuflado, evitando variações de pressão

indesejáveis. Estes sistemas são normalmente aplicados em situações em que as cargas térmicas de diferentes locais do mesmo edifício sofrem flutuações diferentes [43].

Nos sistemas com duas tubagens, após o tratamento do ar na UTA, este é dirigido para duas condutas, uma com uma bateria de aquecimento e outra com uma baterias de arrefecimento. A compensação das cargas térmicas é bastante eficaz com este método, contudo este tipo de instalação apresenta uma número considerável de desvantagens, nomeadamente, o preço e a complexidade de instalação e controlo.

2.4.3.2 Sistemas Tudo-Água

Neste tipo de instalação, a climatização é feita através de água, ou seja, o calor ou frio são levados aos locais, respetivamente, por água previamente aquecida/arrefecida.

Neste tipo de sistema é comum utilizar-se, por exemplo, ventilo convetores ou painéis radiantes. O arrefecimento é feito pela passagem de água fria na bateria, sendo que o arrefecimento pode ser feito na mesma bateria, ou numa outra destinada ao efeito. A água que circula na bateria será fornecida por um equipamento central, de arrefecimento (chiller) e aquecimento (caldeira).

A maior vantagem dos sistemas tudo água é a sua grande flexibilidade na adaptação a diferentes tipos de edifícios. Contudo, apresenta algumas desvantagens, como a falta de filtragem do ar, nestes sistemas não existe um circuito de distribuição de ar novo pelos espaços e também a falta de controlo de humidade, que teria de ser feita separadamente com o uso de uma humidificador [43].

2.4.3.3 Sistemas Ar-Água

São uma alternativa mais eficaz aos sistemas Tudo-Ar. É utilizada água como um fluído intermédio para transportar a carga térmica até aos locais a climatizar. O ar tratado assegura a renovação nos espaços enquanto que a água trata de regularizar as temperaturas. As cargas térmicas dos vários locais são compensadas (individualmente) por um equipamento local que arrefece ou aquece o ar ambiente a partir da água arrefecida ou aquecida, respetivamente.

Os sistemas que utilizam a água como fluido intermédio permitem uma regulação individual da temperatura em cada local climatizado, usando diferentes equipamentos locais, como: pavimentos radiantes (refrigerados ou aquecidos); paredes ou tetos radiantes (refrigerados ou aquecidos); ventiloconvectores: injetoconvectores; vigas arrefecidas.

Num sistema com vigas arrefecidas, a água é aquecida numa unidade central - caldeira ou bomba de calor, enquanto o arrefecimento é feito por um chiller. Mas caso o equipamento de arrefecimento seja reversível, ou seja, uma bomba de calor, é possível efetuar o arrefecimento da água no Verão e o aquecimento no Inverno, evitando dois dispositivos separados. O sistema de vigas a a quatro tubos permite diferenciar as condições de climatização entre espaços adjacentes, isto é, permite ter frio e calor em simultâneo, além de ser possível regular as temperaturas individualmente em cada zona [43].

2.5 Instalação Fotovoltaica

Para aumentar a eficiência energética e diminuir as emissões de GEE, um dos elementos chave é a utilização de energia renovável. Em 2017 o mundo acrescentou mais capacidade a partir de energia solar do que qualquer outra forma de produção de energia. Foi instalada mais potência em solar fotovoltaico do que de combustíveis fósseis ou de fontes nucleares.

A nível mundial, foram instalados 98 GW, aumentando em quase um terço a capacidade mundial, chegando-se a um total de cerca de 402 GW [7].

Um sistema fotovoltaico é composto por um ou mais painéis solares, ligados a inversores e outros equipamentos elétricos e mecânicos. Serve para produzir energia elétrica a partir da radiação solar. A eletricidade produzida por um gerador fotovoltaico é do tipo DC e, apesar de diversos aparelhos utilizarem este tipo de eletricidade, como os computadores, estes estão desenhados para operarem com ligação à rede, que funciona em AC. Por isto, é necessário que a corrente produzida pelos painéis seja passada para AC pelo inversor. A corrente que sai do inversor pode então ser utilizada para alimentar equipamentos eletrónicos nas imediações ou ser enviada para a rede [44]. Ver figura 2.4:

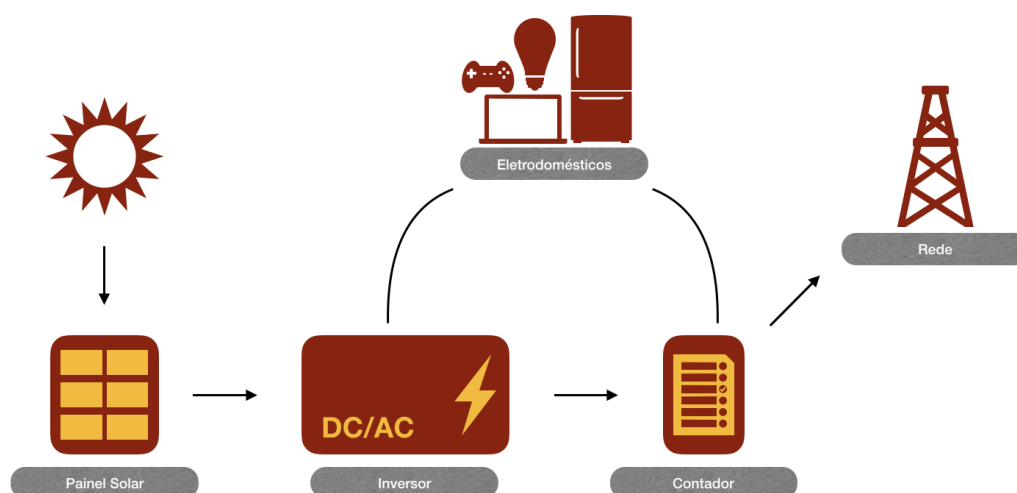


Figura 2.4: Esquemática de uma instalação elétrica com um sistema fotovoltaico incorporado.

2.5.1 Tipos de instalação

As instalações de produção distribuída podem ser de dois tipos distintos: para autoconsumo (UPAC) e produção para injetar na rede (UPP). No primeiro, a energia é injetada na instalação de consumo e eventuais excessos serão injetados na RESP. Neste contexto, pressupõe-se que a capacidade de produção é adequada á instalação. Nas UPP, a totalidade da energia produzida é injetada na rede, aplicando-se o modelo de atribuição de tarifa por leilão, simplificando e agregando o atual regime da Micro e Miniprodução [45].

2.5.2 Componentes

Painel

O constituinte mais pequeno do painel é a célula fotovoltaica. Este componente é o responsável por converterem radiação solar em energia elétrica. Fazem-no com base no efeito fotovoltaico, onde a energia emitida causa a deslocação dos eletrões e valência. Os principais tipos de células utilizadas são [46]:

- monocristalinas; obtidas a partir de barras cilíndricas de silício mono- cristalino produzidas em fornos especiais. Eficiência entre os 15% e os 18%.
- policristalinas produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de pedaços de silício puro em moldes especiais, que arrefecem lentamente e solidificam. Deste modo, os átomos não se organizam num único cristal, sendo formada uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. A sua eficiência pode chegar aos 15%.
- silício amorfo. As células de silício amorfo são obtidas através da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. A sua eficiência varia entre os 5% e os 7%.

Existem diversos tipos de painéis no mercado, com diferentes características. Para escolher o mais adequado para o projeto será necessário ter em atenção os seguintes pontos [47]:

- **NOCT:** temperatura da célula fotovoltaica quando está a funcionar nas condições normais de operação. As condições consideradas padrão são: Irradiância de $0,8\text{kW/m}^2$, 1,5 de Massa de ar, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento menor que 1m/s .
- **MPP (Ponto de Potência Máxima):** é o ponto da curva característica, onde a célula funciona à máxima potência (este ponto varia com as condições meteorológicas);
- **Corrente curto-circuito (I_{sc}):** valor máximo de corrente que a célula é capaz de produzir quando está em curto-circuito. É diretamente proporcional à irradiância.
- **Tensão circuito aberto (V_{oc}):** valor máximo de tensão elétrica que existe entre os terminais da célula quando não existe carga através deles. Esta varia consoante a temperatura da célula. A tensão no ponto máximo de potência pode ser estimada como 80% de da tensão de circuito aberto para condições normais de operação.

Os módulos fotovoltaicos são ligados entre si, em série e paralelo: quando ligados em série constituem as *strings*, havendo um aumento da tensão de saída do painel, mas mantendo-se constante a corrente elétrica; quando ligados em paralelo permitem manter o nível de tensão e aumentar a corrente. Ao conjunto total de módulos fotovoltaicos dá-se a designação de gerador fotovoltaico. Para minimizar as perdas de potência e garantir um bom funcionamento do sistema, apenas se devem utilizar módulos do mesmo tipo.

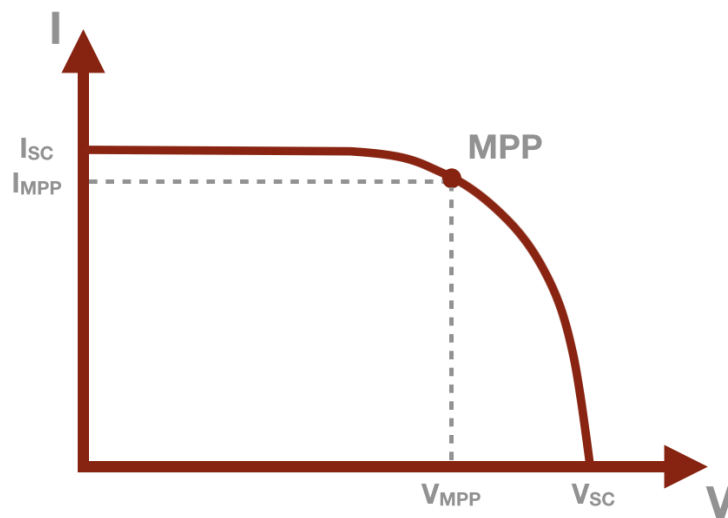


Figura 2.5: Curva característica de um painel solar.

Inversor

Tem como principal função converter a corrente contínua fornecida pelos painéis em corrente alternada que pode ser utilizada por diversos equipamentos. Caso a instalação tenha o intuito de apenas alimentar sistemas de iluminação ou equipamentos que funcionem em corrente contínua então será desnecessário aplicar inversores.

Controlador de Carga

É instalado entre o painel fotovoltaico e as baterias. A sua função é gerir a quantidade de carga que existe nas baterias. Controla ambos o carregamento e descarregamento, mantendo a carga dentro de certos limites pré-definidos. Para proteção contra sobrecargas é capaz de:

- desligar o gerador fotovoltaico quando é ultrapassada a tensão máxima de carga;
- estabelecer um curto-circuito no gerador fotovoltaico (controlador "Shunt");
- ajustar a tensão (controlador de carga MPP);

Baterias

A produção de energia e o seu consumo, na sua maioria, não coincidem, pelo que o armazenamento de energia, através de baterias, é um componente importante de um sistema autónomo. Este equipamento, permite que se utilize energia, por ele armazenada, à noite.

Cabos

Para além dos componentes já referidos é necessário ter especial cuidado com a seleção dos cabos aplicados ao sistema. A sua escolha deve ser feita garantindo a eficiência, segurança e viabilidade económica do projeto. Quando os cabos têm revestimentos, este é, normalmente, de um

de dois tipos: PEX e PVC. O Polietileno Reticulado (PEX) apresenta uma melhor estabilidade térmica, bem como melhores características mecânicas. É capaz de suportar temperaturas máximas da alma de 90°C, em regime permanente. Já o Policloreto de Vinilo (PVC) apresenta, especialmente, boas características elétricas (rigidez e resistência de isolamento) e mecânicas (resistência à corrosão, envelhecimento, etc.), contudo é uma material que possibilita a existência de perdas dielétricas. Suporta uma temperatura máxima, em regime permanente, de 70°C. As misturas à base de PVC são muito utilizadas em baixa tensão, podendo ser utilizadas, em média tensão, até valores de 10kV.

Proteções

Os dispositivos de proteção têm a função de proteger os elementos que constituem a instalação elétrica contra diferentes tipos de defeitos que possa ocorrer, sendo que os principais tipos de defeitos que podem ocorrer num circuito são: sobreintensidades, sobretensões e subtensões. Para proteger os circuitos contra sobreintensidades são usados disjuntores de baixa tensão ou cortacircuitos fusíveis, que interrompem, automaticamente, a passagem da corrente no circuito. Esta proteção evita que haja um sobreaquecimento dos condutores, o que poderia originar um incêndio.

Capítulo 3

Caso de Estudo

3.1 Tarifário Elétrico

Atualmente, quer estejamos a falar das nossas residências, quer de um edifício aberto ao público, temos não só a opção do mercado regularizado, mas também a opção de ingressar no mercado livre de eletricidade, abrindo um leque de opções para o gestor de qualquer edifício poder definir a sua estratégia energética e optar pela opção contratual que lhe é mais favorável. O processo da escolha do correto tarifário elétrico faz, normalmente, parte de uma auditoria energética. Este processo pode ser fulcral para uma redução dos custos com energia e tem ainda como uma mais valia, o não necessitar de qualquer investimento inicial, uma vez que a troca de comercializador não acarreta custos.

O centro comercial tem, correntemente, uma potência contratada de 2143 kVA. Conjugando isto com um estudo dos consumos anuais, neste caso feito para o período de Outubro de 2017 até Setembro de 2018 (figura 3.1), torna-se possível avaliar as condições oferecidas pelos principais operadores do mercado e definir a que melhor assenta nos padrões de consumo do edifício.

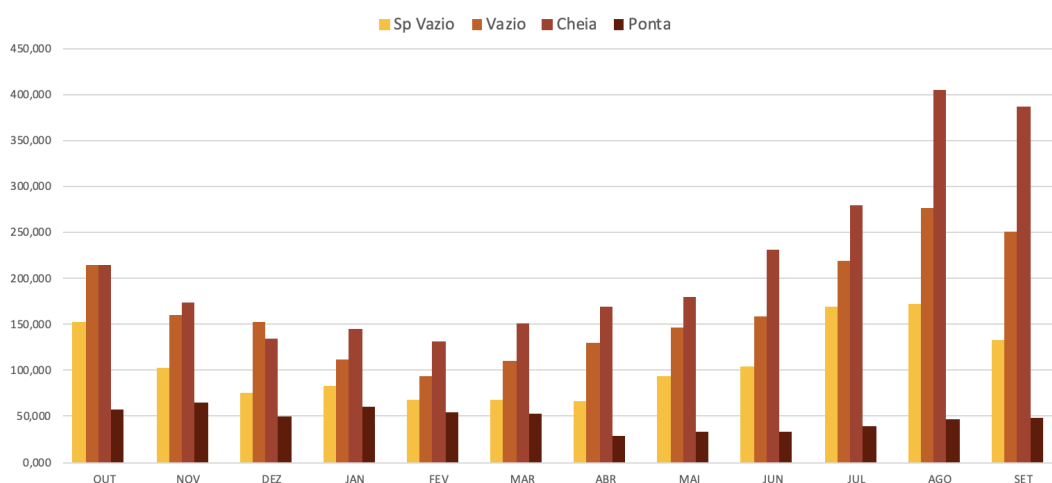


Figura 3.1: Consumos durante 12 meses, Outubro de 2017 a Setembro de 2018.

Tabela 3.1: Comparação das comercializadoras.

/	Iberdrola (atual)	Galp	Simplex Energia	AXPO	EDP Universal	Hen	Naturgy
A pagar (ano)	326 263,87 €	340 788,41 €	404 232,80 €	207 279,87 €	406 614,31 €	435 241,09 €	560 593,98 €
Diferença (€)	—	+14524,541	+77968,93	+19144,91	+80350,44	+108977,22	+234330,11
Diferença	—	4%	24%	6%	25%	33%	72%

Analisando o gráfico, é fácil perceber que os consumos se centram nos períodos de vazio e cheia, seguidos pelo de super vazio. O centro comercial tem a sua atividade durante o dia, mas através da deslocação de alguma cargas é possível diminuir os consumos no períodos de ponta e, consequentemente, as faturas. O sistema de arrefecimento utiliza bancos de gelo durante a maior parte do dia, e o arrefecimento destes bancos é feito durante a noite (vazio, super vazio). Assim, os chillers, que fazem parte do grupo de maior consumo de eletricidade, funcionam no períodos em que a energia é mais barata.

Posto isto, passou-se à análise das ofertas de mercado, tendo em consideração os consumos verificados nos contadores do edifício, passando por todos os meses de forma a tentar obter o cenário mais abrangente possível. Com o auxílio de uma folha de cálculo, foi possível perceber quanto se gastaria ao longo do ano com as diversas comercializadoras, chegando-se à tabela 3.1.

Conclui-se então que, de momento, não há nenhuma alternativa mais competitiva no mercado e que não se consegue diminuir a fatura elétrica com a simples troca de comercializador.

3.2 Qualidade da Energia

As principais perturbações que mais afetam a qualidade da energia elétrica são:

1. Cavas de tensão;
2. Sobreensões transitórias;
3. Flutuações de Tensão;
4. Oscilações de Frequência;
5. Desequilíbrio de tensões;
6. Distorção harmónica;
7. Continuidade de Serviço.

Para tentar perceber o ponto de situação no que toca à qualidade da energia no local, procedeu-se à verificação de alguns parâmetros, como: tensão nas fases; corrente nas fases e neutro; potências ativa e reativa totais; potência aparente; fator de potência; taxa de distorção harmónica; harmónicos de corrente e de tensão. Para tal, utilizou-se um analisador de rede que foi ligado a alguns quadros elétricos, de circuitos chave: QGBT, sistema de bombagem de água e ao quadro de eventos.

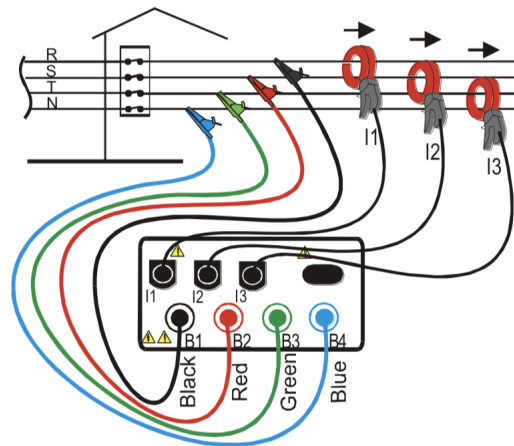


Figura 3.2: Esquema de ligação para uma rede trifásica com neutro.

O analisador utilizado é da marca HT Instruments, modelo GSC53N e foi ligado a um sistema trifásico com neutro seguindo à risca as indicações do manual, seguindo o esquema da figura 3.2:

3.2.1 Tensão nas fases

As tensões nas fases analisadas, V_1 , V_2 e V_3 , de acordo com a norma NE/EN 50160 devem apresentar valores eficazes médios situados entre os $90\% U_n$ e $110\% U_n$. Tendo U_n como 230 V, temos que as tensões deveriam estar entre 207 e 253 V. Analisando a figura 3.3 que compara os valores das tensões nos 3 pontos de medição, pode-se ver que o valor máximo registado é de 240,4V e o mínimo de 223,9V, ou seja, tudo de acordo com a norma.

3.2.2 Corrente nas fases

Quanto às correntes, pode-se ver que todas as fases se encontram igualmente carregadas, nos três quadros analisados, tal pode ser verificado pela figura 3.4.

3.2.3 Potências e Fator de Potência

Já existe no local uma bateria de condensadores para tratar da compensação da reativa. Fá-lo gerando uma potência oposta à consumida pelos motores, transformadores, entre outros. A correção do fator de potência deve ser feita por escalões de potência, ajustados aos consumos da instalação, o qual pode ser avaliado recorrendo a um analisador de rede. Sabendo que o fator de potência nada mais é do que o quociente entre a potência ativa e a potência aparente, foi possível proceder ao seu cálculo e à sua análise. Os valores obtidos para o fator de potência estão refletidos no gráfico 3.5 onde se pode ver que em o limite imposto, do 0,96, é cumprido. As baterias de condensadores estão a fazer o seu trabalho ao garantir que não há excesso de reativa.

3.2.4 Frequência

Como se sabe, a frequência, idealmente, deveria ser sempre de 50 Hz, mas em condições normais de funcionamento é natural que sofra pequenas alterações. Segundo a norma NE/EN 50160, os valores da frequência devem-se situar entre os $50 \pm 1\%$ Hz.

Pode ver-se pela figura 3.6 que, para os casos estudados, as condições impostas pela norma são cumpridas.

3.2.5 Taxa de Distorção Harmónica, THD

Segundo a Norma NE/EN 50160, em condições normais de exploração, para cada período de uma semana, 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos de cada tensão, a taxa de distorção harmónica não deve ultrapassar os 8%.

É claro na figura 3.7, que representa a TDH medida através da ligação do analisador aos diferentes quadros analisados que este limite não é ultrapassado em nenhuma das 3 fases. O valor mais alto é de cerca 6%, para a fase 1 no sistema de bombagem. Este limite também não é ultrapassado no QGBT nem no quadro de eventos como se pode comprovar pela mesma figura.

3.2.6 Taxa de Distorção Harmónica de Corrente, THDI

Tanto a THDI como os harmónicos de corrente ultrapassam os valores máximos previstos para uma instalação deste tipo, tabela 3.2. Para compreender se os harmónicos e taxa de distorção harmónica de corrente estão dentro dos limites foi necessário calcular a corrente de curto no ponto de acesso à rede (I_{cc}), ou seja, no PT de distribuição pública assim como a corrente de carga da instalação do edifício (I_c). Tendo isto em conta seria necessário proceder a uma intervenção com o intuito de tentar diminuir a presença destes harmónicos.

$$I_c = \frac{P_{\text{contratada}}}{FP \times \sqrt{3} \times V_n(KV)} \quad (3.1)$$

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \times V_n(KV)} \quad (3.2)$$

Por norma, utilizam-se filtros ativos e/ou passivos para resolver estas questões de poluição harmónica.

- Os filtros passivos, também chamados de filtros LC, são constituídos por uma indutância e um condensador, daí a sua designação. São instalados em paralelo com a fonte poluidora e dimensionados para uma impedância nula para a frequência que se quer eliminar.
- Os filtros ativos, podem ser considerados como sendo de um dos seguintes tipos: paralelo, série, híbrido ou universal. No entanto quando se pretende compensar harmónicos de corrente utilizam-se filtros ativos em paralelo. O que se faz neste tipo de filtros é instalar um

controlador e um inversor, onde o primeiro mede as tensões e correntes por fase da rede e calcula as correntes de referência para o inversor. Este por sua vez é responsável por introduzir, nas linhas do sistema elétrico, as correntes necessárias para a compensação.

Tabela 3.2: Limites para harmônicos de corrente em porcentagem à corrente de carga.

I_{cc}/I_c	Harmônicos de ordem 3 ^a , 5 ^a , 7 ^a	TDHI
<20	4	5
20-50	7	8
50-100	10	12
100-1000	12	15
>1000	15	20

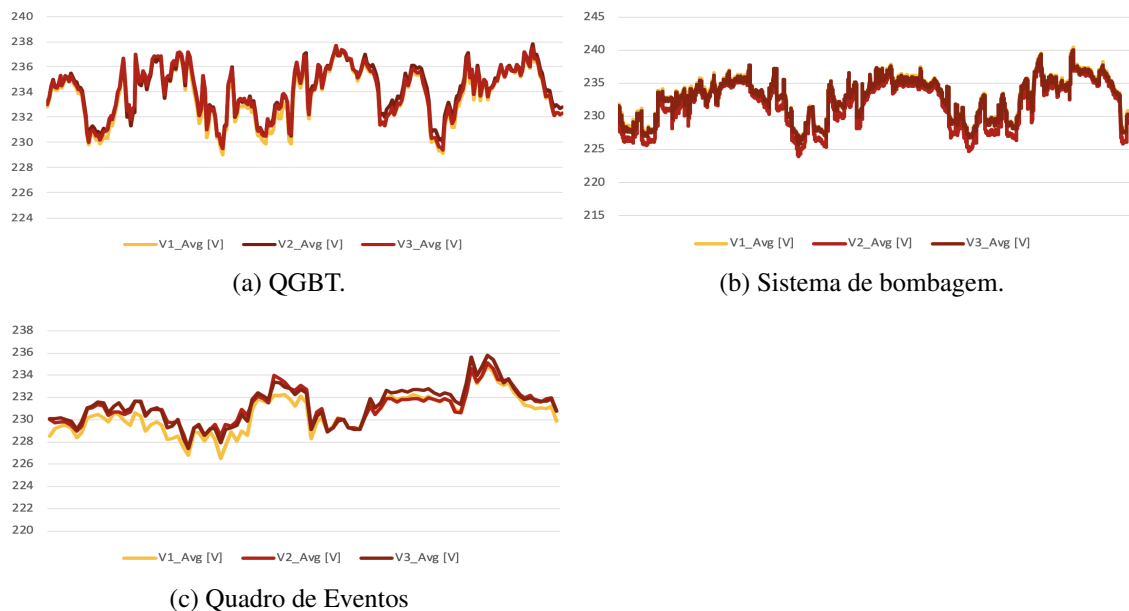


Figura 3.3: Tensões nas fases nos diferentes quadros.

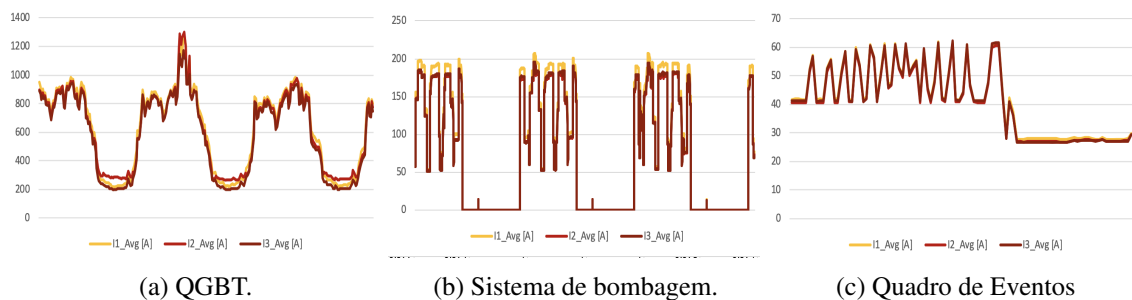


Figura 3.4: Correntes nas fases nos diferentes quadros.



Figura 3.5: Fator de Potência.

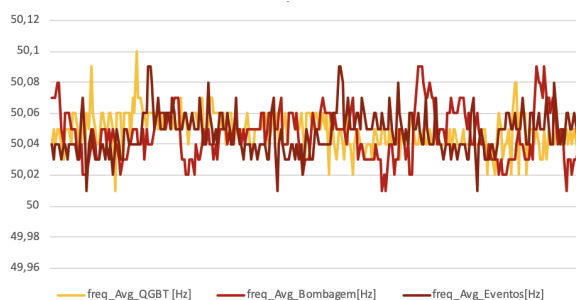


Figura 3.6: Comparação dos valores para a frequência nos três pontos de medição.

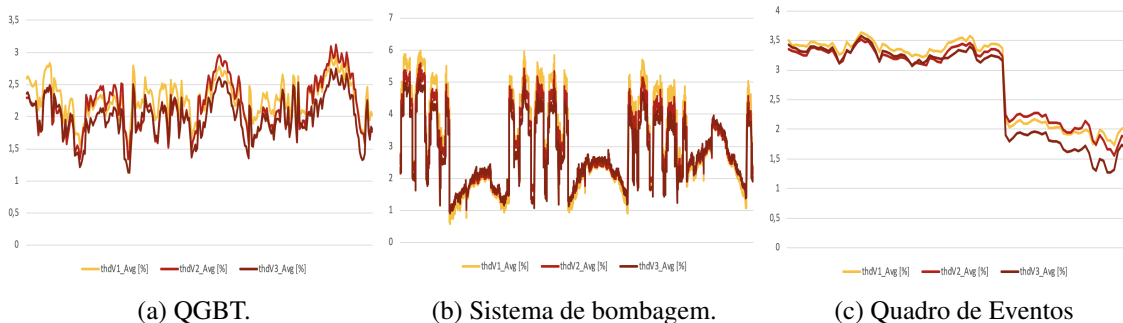


Figura 3.7: Taxa de distorção harmônica.

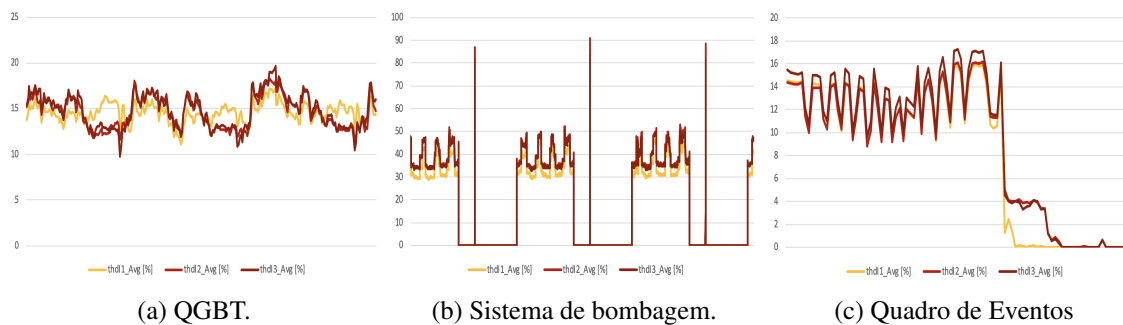


Figura 3.8: Taxa de distorção harmônica nas correntes.

3.3 Iluminação

Os sistemas de iluminação são grandes consumidores de energia e, apesar de não existir muito por onde fazer alterações, são normalmente aplicados fora dos padrões adequados. Pequenas coisas podem fazer uma grande diferença nos consumos, ora vejamos, garantindo que coisas não existe iluminação em excesso, aproveitando ao máximo a luz natural e utilizando equipamentos com alta eficiência luminosa, juntamente com hábitos de uso apropriados e temos uma poupança significativa na energia consumida.

Em residências privadas, uma das medidas mais indicadas e utilizadas é a consciencialização dos utilizadores para a correta utilização das luzes, desligando-as quando não forem necessárias, entre outros. Contudo aqui não é o caso. O gestor de energia do centro comercial tem de decidir quando é necessária luz e regular da melhor forma a sua utilização. Outras formas de reduzir no setor em questão são: aproveitar o máximo de luz natural, diminuindo a utilização de iluminação artificial; pintar os interiores dos espaços com cores claras para favorecer a reflexão da luz; escolher luminárias com superfícies refletoras de alto desempenho; escolher o tipo de lâmpadas adequadas para determinada localização; fazer uma limpeza adequada às entradas de luz natural, assim como às lâmpadas e luminárias; verificar os níveis de iluminação; instalar dispositivos de controlo (controlo automático, programado mediante hora, por fotocélula) caso o seu uso seja justificado; substituição eficiente de lâmpadas.

Salientar que neste estudo, a iluminação das lojas não é avaliada, pois cada uma é responsável pelo sua própria iluminação e não são da responsabilidade da Manvia, SA. Posto isto, a verdade é que cerca de 75% dos consumos com iluminação partem das lojas, 12,1% são da zona da galeria e corredores técnicos e 12% provém do parque de estacionamento. A iluminação exterior ocupa apenas 0.6% dos gastos. O controlo da iluminação das lojas é efetuado manualmente, sendo o controlo de iluminação do shopping efetuado com base nos horários e por ativação de sensores, tudo predefinido e controlado na gestão técnica.

3.3.1 Qualidade da Iluminação

Quando se pretende analisar a iluminação de um espaço, é necessário ter em consideração as condições intrínsecas ao mesmo, sejam as características físicas do local ou o tipo de utilização que lhe é associada. No edifício existem quatro tipos de iluminação: permanente, por intervalo temporal, noturna e ativada por sensores. O comando de todo o sistema é feito por um sistema de gestão centralizada.

Verificando através do perfil estabelecido na GTC, chegou-se à conclusão de que a iluminação permanente está em uso durante 24 horas por dia. Este tipo de iluminação, encontrada, maioritariamente, nos parques de estacionamento, corredores técnicos e zonas da galeria onde não existe luz natural, caracteriza-se por estar sempre ligada, sendo que existe alguma variação da quantidade lâmpadas em funcionamento mediante a hora do dia e o horário de funcionamento do shopping. Ou seja, ocorre uma junção à iluminação crepuscular que, tal como o nome indica, utiliza um

sensor de luz para ativar ou interromper o funcionamento do circuito, consoante os níveis de luz natural no espaço. Este sistema crepuscular é utilizado, por exemplo, na iluminação exterior.

3.3.1.1 Área da galeria

Nas praças de alimentação ou áreas onde as pessoas param (jardim de Inverno, por exemplo) e ficam mais tempo é importante ter uma iluminação confortável. A luz deve parecer natural e ser capaz de realçar o meio envolvente ao mesmo tempo.

Nos corredores da galeria, deve-se garantir luz suficiente para a movimentação adequada dos visitantes e garantir que estes sejam capazes de conviver e interpretar o que os rodeia sem, no entanto, competir com a luz das montras.

A galeria comercial apresenta um total de 4 pisos (0, 1, 2, 3 e 4).

O piso zero é maioritariamente ocupado pelo continente e tem apenas um pequeno corredor em linha reta. Utilizam-se lâmpadas LED tubulares de 1.8m com 24W, atingindo-se uma média de 280 a 320 lux, contudo uma parte do corredor ainda apanha a parede de vidro, aumentando bastante a luz natural e permitindo que durante o dia, as lâmpadas desta área estejam desligadas. Como as lojas têm luz própria, os gastos e equipamentos utilizados por elas não consideradas em nenhum dos pisos.

O piso 1 distingue-se em dois pontos, apresenta uma fonte no centro da zona oval e tem também um espaço livre, na zona da "Urban" com uma área considerável. Este espaço é utilizado para eventos pontuais, como pequenas mostras de automóveis, por exemplo. Ao longo deste espaço, existe um parede em vidro que ocupa aproximadamente 3 andares e metade da lateral do edifício. Isto faz com que toda a área da Urban tenha uma boa luz natural (chegando a atingir valores de 1300 lux, tornando desnecessária a presença de luz artificial ao longo do dia. Quando o sol se põe, utilizam-se maioritariamente focos no teto (LED's) e também lâmpadas do tipo LED no piso. As zonas em que os efeitos da parede de vidro não se fazem sentir têm uma iluminância média de 420 lux, com as mesmas tubulares de 1,8m com 24W de potência.

Os pisos 2 e 3 são muito semelhantes a nível arquitetónico, com uma pequena diferença na forma do teto, tornando-se mais adequado utilizar focos em vez das tubulares usadas no resto do piso e no piso e no piso 3. Estão então instaladas, não tubulares, mas tiras de LED's, de potência equivalente, 24W, no teto do piso 2 e em metade no piso 3. A restante iluminação é feita pelos focos. Também existem lâmpadas no chão, LED's, de igual potência, com o tamanho variando entre 1,80m, 1.20m e 0.60m com a mesma potência de 24W. Estas tem um fim mais virado para efeitos visuais e de "decoração" mas que no total atribuem ao espaço uma iluminância média de 375 a 390 lux. Estes dois pisos têm também uma parte da sua área iluminada por luz natural, onde se verificam iluminâncias até aos 2000 lux, significando que durante grande parte do dia, existe um conjunto de lâmpadas que podem estar desligadas.

O quarto piso, é ocupado quase todo pela praça de restauração e pelos cinemas. Este piso foi alvo de fortes renovações no último ano levando à troca da iluminação utilizando-a também para salientar novos espaços, sendo agora constituída por um conjunto de tubulares LED de 24W, focos LED's, e outras lâmpadas mais pequenas, para iluminação decorativa sobre algumas mesas

particulares com uma potência de 4W de atribuindo à zona uma iluminância aproximada de 320 lux.

3.3.1.2 Corredores Técnicos

As plantas do edifício atribuem 2 corredores técnicos por piso, corredor norte e corredor sul. A iluminância média é anda entre os 80 e os 100 lux, aumentado ligeiramente nas áreas onde existem portas de acesso às lojas. Nos corredores existem lâmpadas do tipo fluorescente, de 1.5m e com 58W de potência. O número de lâmpadas é adequado assim como a sua distribuição e os níveis de iluminância aumentariam significativamente trocando as armações já sujas e baças por outras mais transparentes. Isto poderia até permitir uma redução da potência das lâmpadas. Outro fator a considerar, é renovar todas as lâmpadas para LED's, basta comparar com potência das lâmpadas que existem na galeria. Poderíamos reduzir para metade esses gastos. Este processo vai sendo feito aos poucos, quando uma lâmpada já não funciona, será trocada por uma nova já de tecnologia LED.

3.3.1.3 Parques de estacionamento

Uma boa iluminação no parque de estacionamento garante uma condução mais segura, onde o tipo certo de lâmpadas e luminárias permitirá a redução de sombras e aumentará a segurança geral dos parques de estacionamento. Existem 9 pisos de estacionamento (3B, 3A, 2B, 2A, 1B, 1A, -1, -2 e -3) sendo que apenas oito são para utilização pública, o último, piso -3 abriga o cais para entregas e outros assuntos relacionados com o funcionamento do centro.

O conjunto dos pisos 3A até ao 1A são praticamente iguais, sendo que apenas os "A" têm acesso direto à galeria. São utilizadas em cada um destes pisos 194 lâmpadas com uma potência de 24W cada, atribuindo ao espaço uma iluminância na ordem dos 90-110 lux. Contudo, numa situação à experiência existem duas exceções, os pisos 1A e 3B.

No piso 1A foram desligadas algumas das lâmpadas, tem apenas 162 e ainda não existem LED's, fazendo com que a iluminância máxima registada seja de 90 lux, havendo zonas de sombra na escala dos 15 lux, algo a ter em atenção. Contudo, a nível médio, os valores da norma são cumpridos. No piso 3B, a geometria é diferente, fazendo com haja um combinação diferente de lâmpadas, já que parte do piso é ao ar livre. Na parte interior, temos as mesmas tubulares LED de 24W, num total de 98 unidades, já no exterior, existem 4 postes de iluminação, cada um com 4 lâmpadas de halogéneo de 250W cada.

Os pisos -1 e -2 são localizados por baixo do edifício e são, portanto, maiores. Utilizam lâmpadas do tipo LED, tubulares, com 24W e conseguem obter uma iluminância que oscila entre os 115 e os 90 lux.

Tabela 3.3: Comparação entre níveis de iluminância recomendados e os verificados no edifício.

Área	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida (lux)
Corredores da Galeria	300	Piso 0: 280-320 Piso 1: 420 Pisos 2-3: 375-390
Praça de Restauração	100	320
Corredores Técnicos	100	80-100
Parques de estacionamento	75	90-110
WC	200	75-120

3.3.1.4 Valores de Iluminação

Com base na norma europeia (EN 12464) estabeleceram-se valores de base para as diferentes zonas do centro comercial. Zonas de restauração, corredores da galeria, corredores técnicos, parques de estacionamento, todos estas áreas necessitam de diferentes níveis de iluminância e, tendo em conta as medições efetuadas, foi determinado um plano de ação para, se possível, reduzir a potência total utilizada em iluminação.

Pela tabela 3.3, vê-se que existem várias áreas onde melhorias podem ser feitas de forma a reduzir os custos, vejamos:

- Piso 1 da galeria: Neste piso há um "excesso" de luz em comparação com a norma e com o que se verifica em outros pisos. Será possível reduzir a potência individual de cada lâmpada de forma a diminuir a iluminância. Outro ponto que induz ao aumento da iluminância nestes corredores, é a iluminação das lojas, especialmente da H&M. Devido ao tamanho da loja e à forte iluminação que esta apresenta, é possível reduzir a potência nas lâmpadas que se encontram imediatamente em frente à loja, aí a iluminância chega a atingir os 560 lux. Poderia então optar-se por utilizar tubulares com um potência de 22W.
- Praça da restauração: aqui também aparece haver um desnível bastante grande entre o medido e o que a norma indica, contudo a norma não tem um valor específico para a zona de restauração de um centro comercial, mas sim para restaurantes, onde a iluminação é feita de uma forma um pouco diferente. Normalmente, opta-se por manter níveis de iluminância mais baixos no ambiente, salientar cada mesa individualmente de forma a dar uma ideia de intimidade e reserva. Isto não se aplica num praça alimentar, onde grande parte das mesas são comuns. Estando presencialmente na zona, admite-se que a quantidade de luz é suficiente e se poderia ser diminuída não o seria de forma significativa.
- Parques de estacionamento: aqui sim, existem melhorias que podem ser feitas, passando por utilizar o modelo do parque 1A, garantindo apenas que se trocam também as armações ou, pelo menos, que estas são limpas de forma a garantir que a luz não fica retida. Outro ponto que daria uma imagem mais clara ao parque é uma pintura nova às paredes, com cores claras como o branco.

- WC: aqui pede-se o oposto, os níveis estão abaixo do que é indicado, por isso seria necessário aumentar a iluminância do espaço.

3.3.1.5 Sensores

Uma forma de aumentar a eficiência do sistema de iluminação é utilizar sensores para determinar automaticamente quando é que as luzes devem ser acesas. Podemos escolher sensores de movimento e de presença para funcionar em áreas com menor afluência de pessoas, como nos corredores técnicos e nos WC, ou sensores crepusculares para garantir que as luzes são ligadas apenas quando não há presença de luz natural.

- De movimento: Estes equipamentos podem ser utilizados em todos os locais onde não se espera a presença de pessoas durante longos períodos. Por exemplo, em zonas de passagem como corredores técnicos. Seria então conveniente instalar sensores nos corredores norte e sul dos pisos 0, 1, 2, 3 e 4. Com esta medida evitar-se-ia ter um número considerável de lâmpadas ligadas todo o dia.
- De presença: Os detetores de presença estão um passo à frente dos detetores de movimento: não só reagem aos movimentos rápidos, mas também aos pequenos movimentos de pessoas sentadas ou em pé. São ideais para instalações sanitárias. Bastaria um sensor por cada uma das 20 casas de banho (masculino e feminino e contabilizando as das zonas de administração e balneários) espalhadas pelo centro.
- Crepusculares: Estes sensores poderiam apenas ser instalados numa mão cheia de lugares do centro. Seriam particularmente indicados para acionarem todas as luzes na zona da Urban, bem como nas posições mais próximas dos envidraçados dos pisos 2 e 3.

3.3.1.6 Iluminação exterior

A iluminação exterior do edifício é composta por 58 lâmpadas LED com uma potência total de 4,8 kW e 24 lâmpadas fluorescentes tubulares com uma potência total de 1,38 kW. A potência total instalada de iluminação exterior é de 6,18 kW. O controlo é feito através de um sensor crepuscular e relógio. Ou seja, as luzes ligam, quando ambos os métodos de controlo o ativarem. Por outro lado, para desligar as luzes, apenas se utiliza o relógio, elas estão ligadas desde o anoitecer até aproximadamente o horário de saída da última sessão do cinema, cerca das 3 horas da manhã.

3.3.1.7 Implementação de novas lâmpadas

Foi feita uma simulação para determinar quanto seria possível poupar trocando todas as lâmpadas dos corredores técnicos para novas de tecnologia LED e as dos postes de iluminação no parque exterior do piso 3B. Foram consideradas 221 lâmpadas no total contabilizando os corredores técnicos norte e sul de todos os pisos. Para o cálculo da poupança em termos de custo, com a

Tabela 3.4: Estudo de uma possível troca de lâmpadas.

	Corredores Técnicos	Parque de Estacionamento (exterior)
Tipo de lâmpada (Atual)	FT8 - 58W	Halógeno - 250 W
Novas lâmpadas	LED T8 - 24W	LED - 120 W
Nº Lâmpadas	221	16
Investimento (€)	8171	3212
Poupança anual (€)	6483	1044
Retorno (anos)	1,3	3,1

implementação das medidas que se seguem, foi utilizado, para a energia elétrica, 98,61 €/MWh, com base nas faturas de energia elétrica. Os resultados estão na tabela 3.4.

Estas pequenas alterações seriam o suficiente para poupar pouco mais de 7500 € por ano.

3.4 Sistema de AVAC

O sistema de climatização do centro comercial é composto por diversos equipamentos, dedicados à preparação e distribuição de água para o tratamento ambiente das diversas zonas abrangidas. Uma utilização correta e com uma manutenção eficaz permite aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos bem como obter melhores rendimentos e por conseguinte diminuir os consumos. A climatização das zonas de circulação é feita através de doze unidades de tratamento de ar (UTA), que promovem o arrefecimento do ar ambiente, através da circulação de água refrigerada na bateria de arrefecimento. O ar tratado é insuflado no hall dos pisos através de uma rede de condutas. O retorno do ar às unidades é feito através de redes de condutas que admitem o ar pelas grelhas localizadas nas zonas de circulação. As UTA's, possuem sensor de CO₂ e free-cooling, que permite reduzir o consumo associado à climatização dos espaços.

As lojas e escritório da administração têm ventiloconvectores, com válvulas de duas vias, onde circula a água fria distribuída pelo centro comercial para ajuste da temperatura ambiente. A extração do ar viciado das lojas é feita por ventiladores de extração independentes, estando cada ventilador associado a um grupo de lojas.

3.4.1 Equipamentos

3.4.1.1 Chiller

Estão dedicados à preparação da água refrigerada que é depois distribuída para os diversos equipamentos centralizados para arrefecimento ambiente. O uso é significativamente mais expressivo durante o verão. O centro possui então 3 chillers localizados no quarto piso, no exterior. Uma vez que o shopping, se encontra junto ao Alameda Hotel, foram instalados atenuadores acústicos de modo a reduzir o ruído produzido pelos chillers. No entanto os atenuadores, reduzem a circulação do ar nos condensadores, originando uma deficiente circulação do ar, que origina que os chiller desliguem devido ao aumento da pressão de compressão. De forma a melhorar esta situação, ou seja, reduzir as ocorrências de disparos por alta pressão, foram instalados nos condensadores a

Tabela 3.5: Características dos chillers.

Marca	Modelo	Potência (kW)	Temperatura ida °C	Temperatura retorno °C
Trane	RTAC 400	400-1500	7-9	10-12

ar, um arrefecimento adiabático, que entra em funcionamento sempre que a temperatura exterior é superior a 28° C. Os três chillers têm ainda incorporados amortecedores vibratórios, de modo a reduzir o impacto do seu funcionamento na laje da cobertura.

Apresentam as características expressas na tabela 3.5:

O seu funcionamento é programado através da gestão centralizada, apesar de sofrer alterações mediante a época do ano.

- verão: Varia consoante a carga dos bancos de gelo. No pico de verão deverão entrar em funcionamento a partir das 13:00, num verão mais ténue, pode ser a partir das 18:00-20:00, ambos até às 22:00;
- inverno: 10h-22h.

Para poder obter uma melhoria na fatura energética, é preciso alterar a hora de começo para um horário em que os custos são menores, ou seja, o horário de Super Vazio. Exatamente para isto, o centro tem instalado, na cobertura, um conjuntos de bancos de gelo. A ideia é utilizar os chillers durante a noite no horário super vazio para arrefecer a água dos bancos de gelo. Depois ao longo do dia, a transferência de água fria faz-se desses bancos para os equipamentos centralizados de arrefecimento.

Os banco de gelo, são descarregados durante o dia, sendo que a sua carga acontece à noite para apanhar as tarifas horárias mais baratas.

- Em carga: 00h-1h até as 7h.
- Descarga: durante todo o dia até que acabem. Nessa altura entram em funcionamento os chillers.

O uso destes bancos será sempre vantajoso ao permitir que os chillers estejam parados o maior tempo possível, por norma estão a descarregar pelo menos até as 13h, altura em que muda a tarifa das horas de ponta.

3.4.1.2 Sistema de bombagem

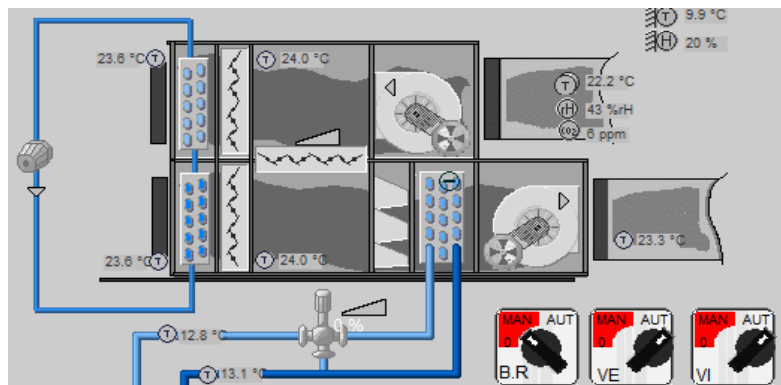
A circulação de água entre os permutadores localizados na cobertura e a central de distribuição da água refrigerada aos diferentes utilizadores é feita por quatro grupos duplos de eletrobombas, três grupos para os chillers e um para os bancos de gelo. Por sua vez, a distribuição da água aos diferentes utilizadores (UTA e ventiloconvectores) é feita por diversos grupos eletrobomba, existindo nas bombas de circulação da água refrigerada às lojas com variadores de frequência, permitindo o ajuste automático do caudal, consoante as necessidades.

Tabela 3.6: Características das bombas de circulação Chillers/Banco de Gelo.

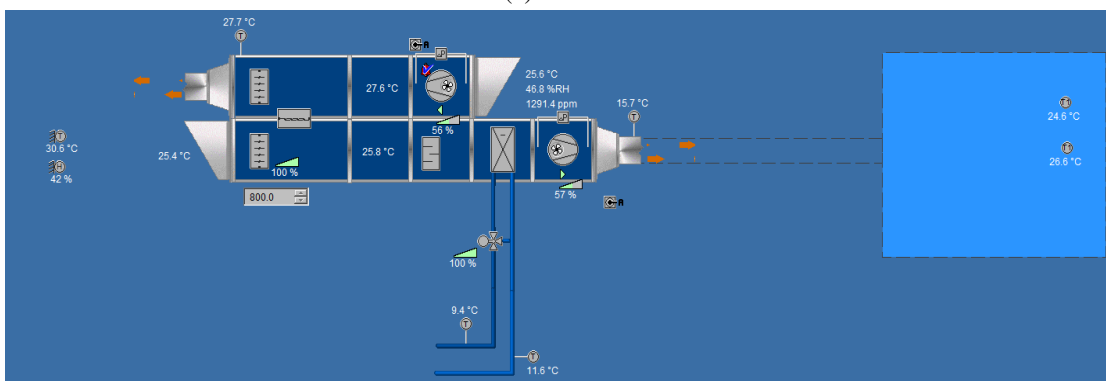
	Chillers	Bancos de Gelo
Marca	Grundfos	Grundfos
Modelo	TPD 150-250/4 A-F-A	CDM 210-287
Potência (kW)	22	30

3.4.1.3 Unidades de Tratamento de Ar

O centro tem um total de 12 UTA's não incluindo as unidades privadas de certas lojas como o Continente, o ginásio ou, mais recentemente, a H&M. As unidades a cargo do centro comercial são então comandadas via GTC, sendo a temperatura regulada através do controlo centralizado de forma a ajustar o(s) valor(es) para a temperatura mais indicada ao dia/época do ano. Para se ter uma melhor ideia do funcionamento das UTA's, foi feita alguma exploração do software de gestão técnica centralizada. Na figura 3.9a é possível verificar as condições de funcionamento de uma das UTA's responsáveis pela climatização da galeria, neste caso a UTA 2. No mesmo sentido, na figura 3.9b é possível verificar as condições de funcionamento de uma das UTA's responsáveis pela climatização da zona de restauração, neste caso a UTA 12.



(a) UTA 2.



(b) UTA 12.

Figura 3.9: Vista das UTA's 2 e 12 na Gestão Técnica Centralizada.

3.4.1.4 Ventilação

Ventiloconvectores

Para o tratamento ambiental das zonas administrativas e da galeria, existem os ventiloconvectores (VC) preparados para ligações às condutas de admissão e/ou descarga, cada um com 2 baterias, permitindo escolher entre aquecimento ou arrefecimento. Representam uma forma bastante eficiente de utilizar um chiller num sistema de climatização central. Cada controlo termostático tem um interruptor on/off, um ajuste para as diferentes velocidades de funcionamento e um controlo para controlar a temperatura desejada. Quando na posição “on”, o VC vai ligar e desligar de forma automática consoante a regulação horária centralizada prevista a nível da GTC.

Ventiladores de Impulso

Nos parques de estacionamento são utilizados ventiladores axiais de impulso para ventilar o espaço. Os ventiladores axiais de impulso não movimentam através deles próprios todo o ar existente, mas provocam o seu movimento por arrasto, ao injetarem ar a grandes velocidades.

Nos espaços fechados, existe a necessidade de dois tipos de ventilação, sendo uma delas a chamada ventilação normal para renovação do ar poluído pelos gases de escape e uma outra de emergência para exaustão de fumo em caso de incêndio.

Um sistema deste tipo associa os ventiladores de impulso com ventiladores de exaustão e insuflação e caso as aberturas (rampas e portas) não sejam suficientes, pequenos troços de condutas coletoras e/ou distribuidoras junto destes. Detetores de CO₂ combinados com detetores de fumo e/ou calor estrategicamente colocados fazem funcionar todo o sistema, através de um painel de controlo de acordo com o predeterminado pela GTC e/ou as necessidades de momento.

É um sistema que permite poupar espaço que seria ocupado pelas condutas, para levar o ar da zona de entrada à zona de saída, tornando-se um sistema mais económico. São bastante flexíveis em termos de funcionamento, já que permitem ventilar conforme as necessidades do momento, isto é, o sistema funciona só nas zonas onde tal é necessário, sendo a ordem para o arranque e/ou paragem de cada ventilador, dada pelas medições efetuadas pelos detetores de CO₂ e/ou fumos e/ou calor.

O sistema instalado mede os níveis de CO₂ numa dada área e caso estes ultrapassem um certo valor, o painel ordena o arranque dos ventiladores dessa zona a baixa velocidade. Caso o nível continue a subir e atinja um nível superior, os ventiladores passam à velocidade alta. Em simultâneo, outras zonas podem ou não necessitar de ventilação. No caso de incêndio, os ventiladores funcionarão sempre na velocidade alta.

Como o parque de estacionamento tem vários pisos, o controlo dos ventiladores é feito em conjunto, para que em caso de fogo num piso, os outros não originem movimentos de ar, devem ser desligados. Por outro lado, a exaustão deverá funcionar na sua velocidade máxima.

3.4.2 Considerações gerais e recomendações sobre o estado do sistema

Com a ajuda do software kisense, verificou-se que chiller 1 e o chiller 2, não se encontram a funcionar à plena carga, o que limita a potência de arrefecimento disponível tanto para a climatização como para o carregamento dos bancos de gelo. Sugere-se que se verifique os custos de manutenção e se equaciona a hipótese de aquisição de equipamentos novos com maiores eficiências.

Somente a bomba associada ao banco de gelo não possui variação eletrónica de velocidade, as restantes sim. Seria uma mais valia instalar um variador de velocidade na bomba dos bancos de gelo.

Outro ponto que foi verificado está relacionado com a bomba do circuito primário. Esta permanece num regime de carga sempre constante, independentemente das necessidades térmicas do edifício. As bombas já possuem VEV, no entanto, é fixo, permanecendo na frequência de 43 Hz. Como tal, propõe-se o ajuste do caudal com recurso à variação eletrónica de velocidade com controlo por temperatura.

Este sistema permitirá fixar a variação da temperatura nos três chiller e ajustar o caudal da bomba circulação de modo garantir a mesma distribuição da energia térmica.

3.5 Sistema Fotovoltaico

O estudo para o sistema fotovoltaico foi feito partindo de dois ângulos diferentes, com e sem auto-consumo. Num regime com auto-consumo, denominado por UPAC, os painéis são instalados com o objetivo de que a totalidade da sua energia seja utilizada para alimentar as cargas, já num regime UPP, a energia produzida pelo sistema será vendida, na sua totalidade, à rede. De uma forma geral, os componentes a instalar serão os mesmos para os dois regimes, apenas diferem no destino final da energia produzida.

É ainda necessário ter em atenção que para um sistema UPAC existem duas restrições:

- O tamanho do sistema fotovoltaico tem que ser inferior à potência contratada (2143 kW);
- O total de produção fotovoltaica não pode ser superior ao consumo anual total de energia (O consumo anual total de energia, estimado a partir das faturas de eletricidade, é de 7063 MWh).

Após uma análise do edifício, definiu-se a cobertura com local ideal para a instalação dos painéis.

A cobertura do edifício não tem inclinação e para determinar a melhor posição para os painéis utilizou-se o software PVGIS. Considerando as coordenadas geográficas e outras propriedades da localização do centro comercial, os painéis deverão ser instalados com uma inclinação entre os 30 e os 35°, com um azimute de -2° e virados para sul. Como nas redondezas do edifício não existem objetos que possam causar sombreamento, apenas será necessário garantir que os próprios painéis não são causam este fenómeno entre si.

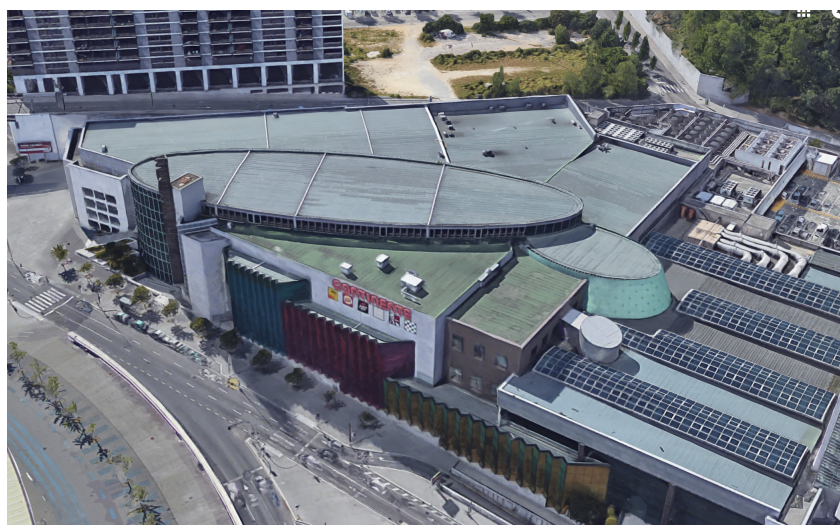


Figura 3.10: Vista aérea da cobertura do centro comercial.

3.5.1 Painel a implementar

A escolha do painel recaiu sobre o modelo STP280 da SunTech, pela fiabilidade da marca e dos seus produtos, e pela garantia de uma performance linear com quedas nunca superiores a 0.7% ao ano. Os inversores escolhidos foram, todos eles, da SMA, modelo Sunny TriPower CORE 1 (STP 50-40)

Tabela 3.7: Características elétricas do painel escolhido.

Potência Nominal	280 Wp
Tolerância de Potência	0/+5 %
Corrente de MPP	7,95 A
Tensão de MPP	35,2 V
Tensão em circuito-aberto	44,8 V
Corrente de curto-circuito	8,33 A
Eficiência do módulo	14,4 %
Tensão máxima do sistema	1000 V DC
Corrente máxima do fusível	15 A

Tabela 3.8: Coeficientes de Temperatura para o painel escolhido.

NOCT	45±2° C
P _{max} (Y)	-0,44%/°C
V _{oc} (BETA)	-0,33%/°C
I _{sc} (ALPHA)	0,055%/°C

3.5.2 Inversor

Foram escolhidos inversores da marca SMA, modelo Sunny Tripower Core 1. A marca SMA é líder no setor da energia solar, especialmente no que toca a inversores para sistemas fotovoltaicos. Sediada na Alemanha, está presente nos cinco continentes.

O inversor usado, trifásico, através da sua tecnologia Multi-String, adequa-se facilmente à configuração de módulos desejada. Cada inversor apresenta 6 entradas MPP revelando-se uma enorme vantagem neste dimensionamento permitindo diminuir o número de inversores instalados.

É extremamente flexível, permitindo a sua utilização para dimensionar sistemas desde os 50 kW até à gama dos megawatts.

O Sunny Tripower obedece à Diretiva de Média Tensão, revelando uma elevada fiabilidade na gestão da rede. Permite a deteção de falhas em strings e tem uma função integrada para proteção contra descargas atmosféricas. Tem um rendimento máximo acima dos 98% e oferece fácil encaixe e fixação para os cabos das diferentes strings. A escolha da potência foi feita, analisando a razão nominal e recorrendo a um software próprio fornecido pela marca, o Sunny Design, considerando o número total de painéis e a potência a instalar. A sua folha de características pode ser consultada em anexo.

3.5.3 Dimensionamento de cabos e proteções DC

A cablagem é constituída por elementos condutores, que permitem o trânsito de eletrões e por melhores que sejam as características dos cabos, o movimentos dos eletrões gera perdas, que são responsáveis pelo aumento de temperatura nos condutores e que se traduzirão em quedas de tensão. A queda de tensão depende de dois fatores: resistência do condutor e da intensidade de corrente que o percorre. Para que o dimensionamento dos cabos seja feito de forma correta, é necessário respeitar os limites definidos pelas normas e terão de ser selecionados tendo em conta tanto as grandezas elétricas como as mecânicas de forma a garantir que são capazes de suportar as condições a que vão estar sujeitos. A queda de tensão máxima admissível nas linhas, está limitada a 1% da tensão nominal do sistema solar fotovoltaico, para as condições standard, segundo a norma VDE 0100 Parte 712. É importante que este limite seja respeitado, de forma a que as perdas de potência, através dos cabos DC, sejam mínimas. De acordo com a norma Europeia IEC 60364-7-712, estes cabos, que fazem a ligação entre os módulos fotovoltaicos e os inversores, têm que ser capazes de suportar uma sobrecarga de corrente até 25% superior à corrente de curto-circuito dos painéis, sendo também preciso garantir que o seu dimensionamento obedece à condição da queda de tensão.

Por fim, a secção mínima de cabo (em mm²), pode ser calculada através da equação:

$$s > \frac{2 \times L \times I}{0,01 \times V \times \sigma} \quad (3.3)$$

Onde,

- L é o comprimento do cabo (120 m), neste caso para a situação mais desfavorável;

- σ é a condutividade do cobre ($56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$);
- I é a corrente nominal (A);
- V é a tensão numa string, garantindo-se uma queda de tensão inferior a 1% pelo termo multiplicativo.

Conclui-se então que para respeitar as duas condições será necessário utilizar uma secção de 6mm^2 . O software fornecido pela SMA também tem uma opção para o dimensionamento de cabos e chegou, igualmente, à conclusão de que seria necessária uma secção de 6mm^2 . Para além disto, também é determinado o valor da queda de tensão, que ficou situado nos 6.2 V , o que garante o cumprimento de mais uma condição.

3.5.3.1 Dimensionamento de proteções DC

Segundo a Norma Europeia IEC 60364- 7-712, os cabos a instalar no lado DC do sistema devem estar protegidos contra curto-circuitos e defeitos à terra. Por norma são recomendados cabos isoladores monopolares. Devem ainda ser instalados fusíveis para as strings sempre que sejam superiores a 4 em número e devem ser instalados tanto no circuito positivo como no negativo.

Para definir que fusíveis instalar foram feitos cálculos com base nas equações:

$$V_{\text{fusível}} > 1.15 \times N \times V_{\text{oc}} \quad (3.4)$$

$$I_n > 1.5 \times I_{\text{sc}} \times M \quad (3.5)$$

Conclui-se que $V_{\text{fusível}}$ terá que ser superior a 978.88V (caso mais desfavorável) e I_n superior a 12.50 A . De salientar que, como foi referido, serão necessários dois fusíveis por string, um para o circuito positivo e outro para o negativo.

Interruptor DC

Aquando da instalação, reparação ou manutenção do gerador fotovoltaico é necessário garantir que este está isolado. Para este fim é necessária a utilização de um interruptor de corte DC, que seja capaz de funcionar à tensão máxima de circuito aberto e suportar uma corrente até 25% superior à máxima do sistema, respeitando as equações 3.6 e 3.7. Estes equipamentos devem ser instalados antes do inversor e interromper tanto o polo positivo como o polo negativo.

$$V_n > V_{\text{oc}} \times N \quad (3.6)$$

$$I_n > 1.25 \times I_{\text{sc}} \quad (3.7)$$

V_n representa a tensão nominal do interruptor e V_{oc} é a tensão em circuito aberto do painel a uma temperatura de -5°C . N é o número de painéis por string. I_{sc} é a corrente de curto circuito de uma string e I_n é a corrente do interruptor.

Assim, os interruptores de corte DC deverão suportar uma tensão superior a 752,97 V e corrente superior a 10.41 A. A opção recaiu sobre o modelo de referência SB13432PV da Hager.

Após um contacto com o fornecedor dos inversores veio à luz que este dimensionamento para fusíveis e interruptores seria desnecessário uma vez que, Teoricamente, o inversor escolhido não irá necessitar nem de fusíveis nem de interruptor, fazendo parte do motivo pelo qual estes inversores de terceira geração da SMA são tão propícios para instalações comerciais.

3.5.4 Dimensionamento de cabos e proteções AC

No lado AC, os cabos que fazem a ligação entre os inversores e o quadro elétrico têm de ser capazes de suportar uma corrente igual ou superior à máxima de saída dos inversores, neste caso, 72.5 A.

O RTIEBT estipula uma secção mínima de 6mm^2 para cabos de ramal. A condição de queda de tensão máxima, que não pode ultrapassar 1%, deve respeitar a equação:

$$\Delta V > r_{f(90^\circ)} \times L \times I_b \quad (3.8)$$

Em que,

ΔV é a queda de tensão num condutor, $r_{f(90^\circ)}$ a resistência linear do condutor de fase para a temperatura máxima de funcionamento (PEX) e I_b é a corrente de serviço. Através do dimensionamento do cabo realizado, automaticamente, no Sunny Design, obteve-se um valor de 6mm^2 para a secção mínima que é capaz de garantir uma queda de tensão inferior a 1%.

O dimensionamento da secção do condutor, depende das correntes máximas admissíveis em regime permanente (I_z) sendo que este valor tem de ser superior ao da corrente de serviço (I_b). Fazendo os cálculos, utilizando as tabelas do RTIEBT chega-se à conclusão de que será necessária uma secção mínima de 10mm^2 para garantir a condição de aquecimento, contudo, para manter as perdas abaixo do 1% do lado AC optou-se por escolher uma secção de 16mm^2 .

Para o cabo responsável pela ligação entre o armário de distribuição e o QGBT, seguiram-se os mesmo passos utilizando as tabelas RTIEBT, tendo em conta que este deve ser capaz de suportar a soma das correntes de saída dos vários inversores (72,4 A).

Recorrendo, novamente, ao Sunny Design é possível obter a secção por ele calculada. O programa garante que a condição da queda de tensão é satisfeita com um cabo de 120mm^2 . De salientar que os neste projeto os inversores foram todos eles colocados na mesma zona, perto do limite da cobertura por onde o cabo de ligação ao QGBT irá descer. Fez-se isto para poder reduzir o tamanho e manobras a fazer com este cabo dado à sua elevada secção. O cabo irá descer pela porta da entrada do parque 3B, estando o PT e QGBT localizado entre os pisos 3B e 3A, por baixo do local indicado para os inversores.

3.5.4.1 Dimensionamento das proteções AC

Interruptor Omnipolar Geral

Uma instalação deste tipo necessita de um interruptor geral capaz de suportar a corrente de serviço existente.

$$I = \frac{P \times \cos(\theta)}{V} \quad (3.9)$$

Dá uma corrente de serviço de 993,8 A. Será necessário utilizar um interruptor de 1250 A.

Disjuntor AC

Para a conexão dos inversores e o AD vão ser necessários disjuntores AC dimensionados para garantir que cumprem a condição de sobrecarga.

$$I_b < I_n < I_z \quad (3.10)$$

$$I < 1.45 \times I_{zf} \quad (3.11)$$

Em que,

I_b é a corrente de serviço (72,5 A), I_n o calibre da proteção, sendo I a corrente convencional de funcionamento do aparelho de proteção e I_z a corrente admissível na canalização (96 A). Neste caso, atendendo aos valores das correntes, e com base nas equações 3.10 e 3.11 optou-se por um disjuntor com uma corrente nominal de 80 A.

Interruptor Diferencial AC

A proteção contra sobreintensidades e choques elétricos fica a cargo do disjuntor, mas para suprimir os efeitos de correntes residuais que são próprias dos sistemas fotovoltaicos deverá também instalar-se interruptores diferenciais. O dimensionamento será igual, 80A com uma sensibilidade de 30 mA. Tanto os disjuntores como interruptores deverão ser instalados em igual número aos inversores, ou seja, 13.

Ligação à Terra

Numa instalação com uma potência tão elevada e com ligação à rede, o mais seguro será fazer uma ligação apropriada à terra. Neste sentido é recomendada uma ligação equipotencial, uma ligação capaz de unir todos os componente condutores que fazem parte do edifício, estruturas de apoio, condutas de gases, água, entre outros.

Para fazer esta ligação deve-se encontrar o caminho mais curto possível, se possível em linha reta, na vertical. Isto para evitar a criação de correntes de retorno. Optou-se por utilizar um cabo

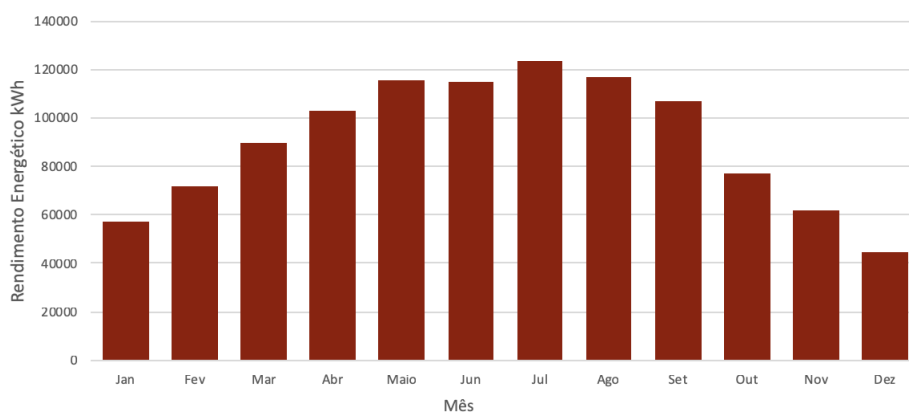


Figura 3.11: Rendimento dos painéis.

com secção de 16mm^2 ligando o sistema fotovoltaico ao sistema de terras do edifício.

Quadros

Para este sistema vai ser necessário instalar um quadro elétrico, na cobertura, para as proteções. Para além destas, o quadro poderá também abrigar os 13 inversores, por isso terá uma dimensão significativa. Como será colocado a céu aberto deverá estar preparado para a ação de raios UV, água e poeiras.

3.5.5 Investimento e Retorno

Após decidida a configuração e dimensionamento dos componentes necessários para garantir uma exploração rentável e segura do sistema é tempo de analisar a viabilidade económica do projeto. Analisa-se os investimentos a fazer e mediante as poupanças anuais, determina-se quanto tempo se irá demorar a recuperar os fundos aplicados.

Quando se utilizou a ferramenta Sunny Design, um dos resultados fornecidos é a avaliação económica do projeto. São fornecido valores como a poupança anual, poupança em 20 anos, tempo de amortização, entre outros. A análise é realizada tendo em conta a energia produzida pelo sistema, sendo a receita o valor total de energia economizada pelo consumidor. Este valor é dado pela multiplicação do valor da tarifa de energia vigente pela quantidade de energia anual produzida. Para além disto, é também necessário ter em atenção a taxa de inflação, considerada, neste caso, de 3%. Como seria de esperar, o período com maior taxa de aproveitamento centra-se nos meses de verão (figura 3.11) e tendo em conta a sua totalidade, permitirá atingir uma poupança, logo no primeiro ano, de cerca de 300 935 euros.

Apesar de um sistema deste tipo ter, por norma, uma vida útil de cerca de 25 anos, os cálculos foram feitos para um período de apenas 20 anos. Nesse período, contabilizando a taxa de inflação, bem como custos de manutenção, na ordem dos 1,5% do investimento inicial, prevê-se um acumular de poupança de, aproximadamente, 6.044.024 euros. Assim, o capital investido será recuperado num período próximo de 5 anos.

Tabela 3.9: Investimento necessário para o sistema fotovoltaico.

Equipamento	Ref	Preço	Qtd	Total
Cabos/secção				
1,5	U-1000 R2V XV 4G1,5	1047	0,36	€ 376,92
4	U-1000 R2V XV 4G4	2421	4,32	€ 10 458,72
6	XV (0,6/1kV)4G6	3480	1,2	€ 4 176,00
25	XV 3X25+16	13054	0,195	€ 2 545,53
120	XV 3X120+70	60046	0,01	€ 600,46
terra	XV 4G16	8974	0,027	€ 242,30
Sub-total				€ 18 399,93
Fusíveis	LF315PV	6,31	260	€ 1 640,60
Porta fusíveis	L501PV	5,06	260	€ 1 315,60
Interruptores DC	SB432PV	193,22	65	€ 12 559,30
Interruptor Geral AC	HA462	1057,17	13	€ 13 743,21
Diferencial AC	CDC684F	205,73	13	€ 2 674,49
Disjuntor AC	HMX450	308	13	€ 4 004,00
Inversor	STP 50-40	4749,00	13	€ 61 737,01
Painel Fotovoltaico	STP280-24Vd	490	2449	€ 1 200 010,00
Total				€ 1 316 084,14

3.5.6 UPP vs UPAC

Os cálculos efetuados anteriormente foram para um Unidade de Produção de Autoconsumo (UPAC), contudo, existe uma outra opção que passa por vender toda a energia produzida à rede, ou seja, tornar o centro numa Unidade de Pequena Produção (UPP). Ora, neste cenário existem outros valores a ter em consideração, uma vez que a energia será remunerada com base num modelo de licitações com possíveis descontos à tarifa base de 95€/MWh. Devido aos baixos preços para a venda de energia à rede, num sistema deste tamanho é muito mais compensatório aplicar um sistema de autoconsumo. Numa situação de UPP, o período para a amortização do investimento poderia chegar a atingir os 12 anos.

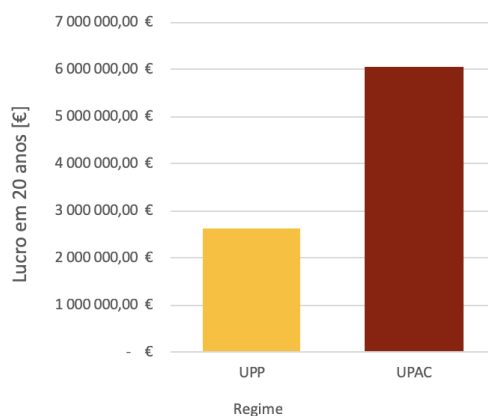


Figura 3.12: Comparação entre os lucros a 20 anos dos dois regimes de produção.

Capítulo 4

Conclusões e Trabalho Futuro

4.1 Conclusão

O principal objetivo desta dissertação prendia-se com a análise da eficiência energética de um edifício do setor do retalho, um centro comercial. A ideia principal seria a de estudar a possibilidade de reduzir os custos associados ao consumo de energia, nas diversas áreas possíveis, iluminação, AVAC e na tarifa e qualidade de energia, obedecendo a uma política energética sustentável. Para isso foi também feito um estudo acerca de uma possível produção própria de energia, neste caso, um sistema fotovoltaico.

4.1.1 Tarifário Energético

Quanto à faturação energética, concluiu-se que a opção tarifária em vigor é a melhor. No estudo comparativo entre várias tarifas, de várias empresas, chega-se à conclusão que nenhum operador de mercado oferece uma opção melhor aquela em vigor atualmente. Mesmo assim, no final do contrato aconselha-se a uma nova procura por melhores opções.

4.1.2 Qualidade de Energia

A análise à qualidade de energia da instalação mostrou que na maiorias dos pontos o sistema encontra-se a funcionar de forma adequada. Contudo, existe um pequeno problema com a poluição harmónica na correntes. Este problema é muito provavelmente recente e advém da troca das lâmpadas fluorescente por LED's. Por outro lado ainda existe um bom conjunto de lâmpadas que deve ser atualizado o que poderá agravar ainda mais este problema.

4.1.3 Iluminação

As melhorias possíveis assentam em alguns pontos fulcrais: diminuição da potência de lâmpadas em pontos estratégicos; uso de sensores para diminuir o tempo total que as lâmpadas estão ligadas em zonas adequadas, como os corredores técnicos e as casas de banho. Por fim, foi também aconselhado a troca total das lâmpadas por outras de tecnologia LED, uma solução viável dado

à facilidade de execução, uma vez que não seria necessário trocar luminárias, e pela diminuição considerável nos consumos.

4.1.4 AVAC

Os sistemas de AVAC, para os equipamentos existentes, mostraram-se otimizados, não sendo possível aplicar medidas capazes de originar poupanças imediatas. A utilização dos chillers é feita com rigor e o mecanismo dos bancos de gelos garante um nível de poupança excelente, comparado com a maioria dos sistemas de AVAC. Os diversos *set-points* da temperatura estão nos níveis recomendados daí não ser proposto variar o seu valor. As propostas de alteração sugerem troca de equipamentos de arrefecimento, nomeadamente dos chillers 1 e 2 que não se encontram a funcionar a plena carga. Os sistemas de bombagem também poderiam ser alvos de duas intervenções, instalar variadores eletrónicos de velocidade: ajuste do caudal da bomba do circuito primário com uso de um VEV; instalação de um VEV na bomba associada aos bancos de gelo.

4.1.5 Sistema Fotovoltaico

A implementação do projeto fotovoltaico mostrou ser consideravelmente vantajosa, permitindo uma redução avultada nos consumos e, conseqüentemente, nas faturas de eletricidade. Saliar que o melhor regime seria o de UPAC, com um período de retorno do investimento de aproximadamente 5 anos.

4.2 Satisfação dos Objetivos

Considera-se que objetivos que me foram propostos, tanto pela empresa Manvia, SA assim como pelo meu professor orientador, foram atingidos com sucesso. Apesar da extensão e abrangência da dissertação, apesar de se focar num cliente muito particular, em que se lidam com elevados fatores sócio-económicos, foi possível estudar cada uma das áreas, cumprindo as metas propostas.

4.3 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, sugere-se o estudo exaustivo à qualidade da energia elétrica da instalação, analisando todos os quadros, individualmente, para que se corrijam os valores dos harmónicos de corrente, que se encontram superiores ao valor limite. Antes disto, devia-se proceder à troca para LED's de forma a garantir que não são necessários novas correções dos harmónicos. Para além disto, uma outra situação a analisar seria a eficiência e qualidade das UTA's. Deve-se tentar perceber se o seu funcionamento se encontra otimizado e tentar descobrir a parametrização do

free-cooling, pois uma brevíssima análise com o engenheiro responsável no edifício sugere que possam haver algumas melhorias a realizar.

Anexo A







Painel designado para o Sistema Fotovoltaico

STP280 - 24/Vd

SUNTECH
Solar powering a green future™

280 Watt
POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE

Features

- 
High module conversion efficiency
 (up to 14.4%), through superior cell technology and leading manufacturing capability
- 
Positive tolerance
 Guaranteed positive tolerance from 0~5% ensures power output reliability
- 
Suntech's TruPower™
 Suntech's TruPower™ process neutralizes the initial LID effect
- 
Excellent weak light performance
 Excellent performance under low light environments (mornings, evenings, and cloudy days)
- 
Withstand high wind and snow loads
 Entire module certified to withstand high wind loads (2400 Pascal) and snow loads (5400 Pascal) *
- 
Suntech current sorting process
 All Suntech modules sorted and packaged by amperage, maximizing system output by reducing mismatch losses by up to 2%



Certification and standards:
UL1703, IEC 61215, IEC 61730, conformity to CE



Trust Suntech to Deliver Reliable Performance Over Time

- World's No.1 manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Unrivaled manufacturing capacity and world-class technology
- Rigorous quality control meeting the highest international standards : ISO 9001: 2008 and ISO 14001: 2004

Industry-leading warranty



- Warrants 6.7% more power than the market standard over 25 years
- 25-year transferrable power output warranty: 5 years/93%, 12 years/90%, 18 years/85%, 25 years/80% **
- Based on nominal power
- 5 years material and workmanship warranty



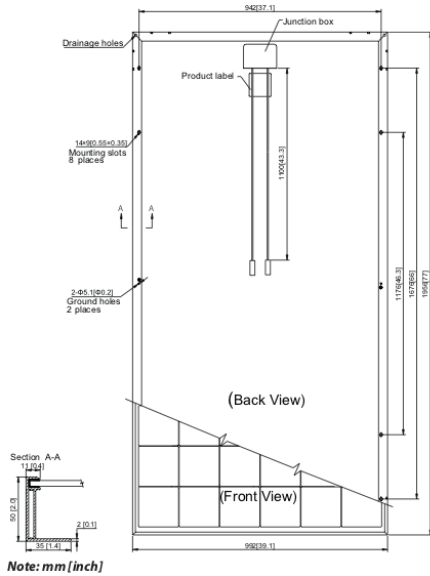
Suntech modules are trusted and proven, powering over 2.2 GW of solar installations all over the world



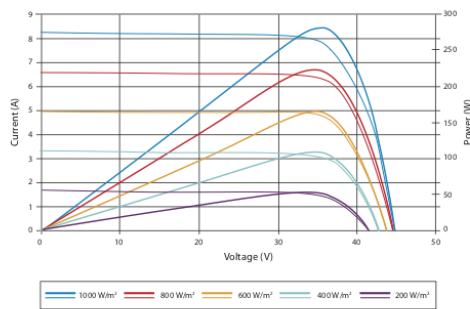
Latest IP67 rated junction box improves module performance stability. High performance connectors provide low resistance interconnection to ensure the full utilization of module power output.

* Please refer to Suntech Standard Module Installation Manual for details.
** Please refer to Suntech Product Warranty for details.

STP280 - 24/Vd



Current-Voltage & Power-Voltage Curve (280-24)



Excellent performance under weak light conditions: at an irradiance intensity of 200 W/m² (AM 1.5, 25 °C), 95.5% or higher of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved

Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.44 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.055 %/°C

Dealer information

Specifications are subject to change without further notification

Electrical Characteristics

STC	STP280-24/Vd
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.2 V
Optimum Operating Current (Imp)	7.95 A
Open - Circuit Voltage (Voc)	44.8 V
Short - Circuit Current (Isc)	8.33 A
Maximum Power at STC (Pmax)	280 W
Module Efficiency	14.4%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	600 V DC (UL)/ 1000 V DC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Power Tolerance	0/+5 %

STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5; Power measurement tolerance: ± 3%

NOCT	STP280-24/Vd
Maximum Power (W)	204 W
Maximum Power Voltage (V)	32.0 V
Maximum Power Current (A)	6.39 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.8 V
Short Circuit Current (Isc)	6.74 A

NOCT: Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, wind speed 1 m/s; Power measurement tolerance: ± 3%

Mechanical Characteristics

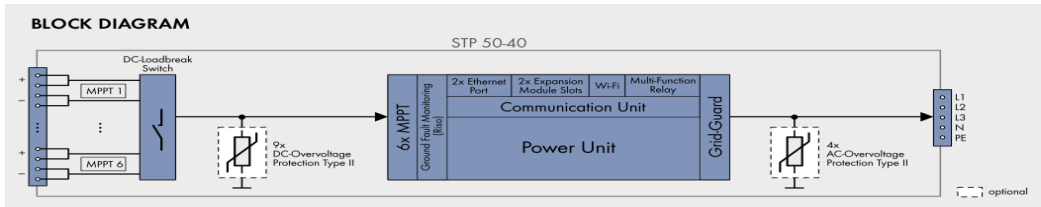
Solar Cell	Polycrystalline 156 × 156 mm (6 inches)
No. of Cells	72 (6 × 12)
Dimensions	1956 × 992 × 50 mm (77.0 × 39.1 × 2.0 inches)
Weight	27.0 kgs (59.5 lbs.)
Front Glass	4.0 mm (0.16 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP67 rated
	UL 4703, TUV (2Pfg1169:2007)
Output Cables	4.0 mm² (0.006 inches²), symmetrical lengths (-) 1100 mm (43.3 inches) and (+) 1100 mm (43.3 inches)
Connectors	H4 connectors (MC4 compatible)

Packing Configuration

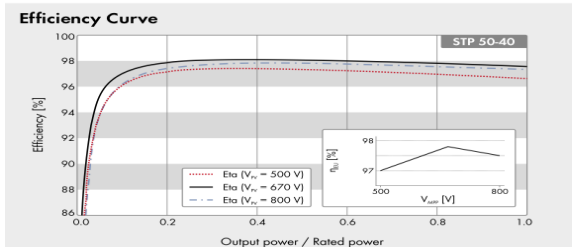
Container	20' GP	40' GP	40' HC
Pieces per pallet	21	21	21
Pallets per container	5	12	24
Pieces per container	105	252	504

Anexo B

Inversor



Technical Data	Sunny Tripower CORE1	Technical Data	Sunny Tripower CORE1
Input (DC)		Efficiency	
Max. generator power	75000 Wp STC	Max. efficiency / European efficiency	98.1% / 97.8%
Max. input voltage	1000 V	General data	
MPP voltage range / rated input voltage	500 V to 800 V / 670 V	Dimensions (W/H/D)	621 mm / 733 mm / 569 mm (24.4 in / 28.8 in / 22.4 in)
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	Weight	8.4 kg (18.5 lb)
Max. operating input current / per MPPT	120 A / 20 A	Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)
Max. short circuit current per MPPT / per string input	30A / 30A	Noise emission (typical)	< 65 dB(A)
Number of independent MPPT inputs / strings per MPP input	6 / 2	Self-consumption (at night)	4.8 W
Output (AC)		Topology / Cooling concept	Transformerless / OptiCool
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	50000 W	Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Max. apparent AC power	50000 VA	Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
AC nominal voltage	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V	Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
AC voltage range	202 V to 305 V	Features / functions / accessories	
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	DC connection / AC connection	SUNCLIX / screw terminal
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	Mounting feet	•
Max. output current / Rated output current	72.5 A / 72.5 A	LED indicators (status / fault / communication)	• / • / •
Output phases / AC connection	3 / 3-[N]-PE	Interface: Ethernet / WLAN / RS485	• [2 ports] / • / •
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging	Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	• / • / •
THD	< 3%	Multi-Function relay / Expansion Module Slots	• / • [2 ports]
Protective devices		OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	• / • / •
Inputside disconnection device	•	Off-grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	• / • / •
Ground fault monitoring / grid monitoring	• / •	Guarantee: 5/10/15/20 years	• / • / • / •
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	• / • / -	Certificates and permits (more available on request)	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11/2012, CE, CB 016, CEI 021, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2016, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, REA 2016, PFC-RD 1699/413, RD 661/2007, Res n°22013, SIA777, TOR D4, TR 3-2-2, UTE C15-712-1, VDE 0123-1-1, VDE-ARN 4105, VFR 2014, P.O.12.3, NTCO-NICYS, GC 8.9H, PR20, DEWA
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	•	* Does not apply to all national appendices of EN 50438	
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III, DC: II		
AC/DC surge arrester (Type II)	• / •		
		• Standard features ◯ Optional - Not available	
		Data at nominal conditions - status: 07/2017	
		Type designation	STP 50-40



Assessories

- SMA Sensor Module MD.SEN-40
- SMA IO-Module MD.IO-40
- SMA RS485 Module MD.485-40
- Antenna Extension Kit EXTANT-40
- AC Surge Protection Module Kit AC_SPD_Kit1-10
- DC Surge Protection Module Kit DC_SPD_Kit4-10

Referências

- [1] E.A. Wrigley. Energy and the english industrial revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A (Mathematical, Physical & Engineering Sciences)*, 371(1986):10 pp. –, 2013/03/13. URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2011.0568>.
- [2] A.K. Seshadri. Origin of path independence between cumulative co2 emissions and global warming. *Climate Dynamics*, 49(9-10):3383 – 401, 2017/11/. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-016-3519-3>.
- [3] V.V. Klimenko, D.S. Beznosova, e A.G. Tereshin. Does the kyoto protocol have a future? *Thermal Engineering*, 53(5):335 – 42, 2006/05/. URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S0040601506050016>.
- [4] F. Murphy e K. McDonnell. Investigation of the potential impact of the paris agreement on national mitigation policies and the risk of carbon leakage; an analysis of the irish bioenergy industry. *Energy Policy*, 104:80 – 8, 2017/05/. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.042>.
- [5] R. Warren, J. Price, J. VanDerWal, S. Cornelius, e H. Sohl. The implications of the united nations paris agreement on climate change for globally significant biodiversity areas. *Climatic Change*, 147(3-4):395 – 409, 2018/04/. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-018-2158-6>.
- [6] Buildings - european comission. Disponível em <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/>, acessado a última vez em 26 de Setembro de 2018.
- [7] REN21 COMMUNITY. *RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT*.
- [8] U. Berardi. Building energy consumption in us, eu, and bric countries. *Procedia Engineering*, 118:128 – 36, 2015//. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.411>.
- [9] J.S. Neibergs, T.D. Hudson, C.E. Kruger, e K. Hamel-Rieken. Estimating climate change effects on grazing management and beef cattle production in the pacific northwest. *Climatic Change*, 146(1-2):5 – 17, 2018/01/. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-017-2014-0>.
- [10] Yongdeng Lei e Jing'ai Wang. A preliminary discussion on the opportunities and challenges of linking climate change adaptation with disaster risk reduction. *Natural Hazards*, 71(3):1587 – 97, 2014/04/. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-013-0966-6>.

- [11] F. Cucchiella, I. D'Adamo, M. Gastaldi, e M. Miliacca. Efficiency and allocation of emission allowances and energy consumption over more sustainable european economies. *Journal of Cleaner Production*, 182:805 – 17, 2018/05/01. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.079>.
- [12] The noaa annual greenhouse gas index (aggi). Disponível em <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>, acessado a última vez em 28 de Setembro de 2018.
- [13] Eu climate strategies & targets - 2020. Disponível em https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en, acessado a última vez em 28 de Setembro de 2018.
- [14] Eu climate strategies & targets - 2030. Disponível em https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en, acessado a última vez em 28 de Setembro de 2018.
- [15] Mats Nilsson. Red light for green paper: The eu policy on energy efficiency. *Energy Policy*, 35(1):540 – 547, 2007. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506000024>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.12.023>.
- [16] Eu climate strategies & targets - 2020. Disponível em <https://rea.apambiente.pt/content/produç~ao-e-consumo-de-energia>, acessado a última vez em 1 de Outubro de 2018.
- [17] United Nations Industrial Development Organization. *Module 5: Structure, Composition and Role of an Energy Regulator*. FEUP, 2011.
- [18] Ignacio Perez-Arriaga. *Engineering, Economics and Regulation of the Electric Power Sector*. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>, Spring 2010.
- [19] Regimes de produção. Disponível em <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/produtores/legislacao/Pages/ProducaodeEnergiaEletrica.aspx>, acessado a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [20] Operadores das redes de distribuição em portugal. Disponível em [http://www.erse.pt/pt/electricidade/agentesdosector/pequenosdistribuidoresembaixatensao\(cooperativas\)/Paginas/default.aspx](http://www.erse.pt/pt/electricidade/agentesdosector/pequenosdistribuidoresembaixatensao(cooperativas)/Paginas/default.aspx), acessado a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [21] Tarifas para a energia elétrica. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>, acessado a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [22] Faturação da energia reativa. Disponível em <https://www.edpsu.pt/pt/apoioaocliente/Perguntas%20Frequentes/Pages/faqs-faturacaoreactiva.aspx>, acessado a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [23] Faturação da energia reativa. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/relacoescomerciais/Documents/Recomendaç~oes/Recomendaç~ao%20de%20energia%20reactiva.pdf>, acessado a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [24] Compensação de energia reativa e aplicação das novas regras de faturação. Via EDP Distribuição.

- [25] Entidade reguladora dos serviços energéticos - despacho nº 7253/2010. Disponível em http://www.erse.pt/pt/legislacao/diplomas/Documents/Tarifas%20e%20Preços/Despacho%207253_2010.pdf, acessido a última vez em 8 de Outubro de 2018.
- [26] J. Neves dos Santos. *Compensação do Fator de Potência*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Abril 2006.
- [27] EDP. *Manual da Qualidade da Energia Elétrica*. EDP, Dezembro 2005.
- [28] M. Fontoyont, K. Ramanarivo, T. Soreze, G. Fernez, e K.G. Skov. Economic feasibility of maximising daylighting of a standard office building with efficient electric lighting. *Energy and Buildings*, 110:435 – 42, 2016/01/01. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.045>.
- [29] E.J. Gago, T. Muneer, M. Knez, e H. Koster. Natural light controls and guides in buildings. energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 41:1 – 13, 2015/01/. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>.
- [30] E.C. Castanheira, H.A. Souza, e M.Z. Fortes. Influence of natural and artificial light on structured steel buildings. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 48:392 – 8, 2015/08/. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.022>.
- [31] J. Neves dos Santos. *Noções Básicas de Luminotecnica*. FEUP, Julho 2007.
- [32] Christoph REINHART. *Electric Lighting*. MIT, 1990.
- [33] Kao CHEN. *Industrial Power Distribution and Illuminating Systems*. Marcel Dekker, 1990.
- [34] Zheng Yang e Burcin Becerik-Gerber. How does building occupancy influence energy efficiency of hvac systems? *Energy Procedia*, 88:775 – 780, 2016. CUE 2015 - Applied Energy Symposium and Summit 2015: Low carbon cities and urban energy systems. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021630176X>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.111>.
- [35] Chillers - what are they? Disponível em <http://theengineeringmindset.com/chillers-what-are-they-hvac/>, acessido a última vez a 7 de Novembro de 2018.
- [36] Heat pump vs furnace - the pros and cons of each heating type. Disponível em <https://asm-air.com/hvac/heat-pump-vs-furnace-pros-cons/>, acessido a última vez a 7 de Novembro de 2018.
- [37] What is a heat pump? Disponível em <https://www.trane.com/residential/en/resources/glossary/what-is-a-heat-pump/>, acessido a última vez a 7 de Novembro de 2018.
- [38] Yuebin Yu, Denchai Woradechjumroen, e Daihong Yu. A review of fault detection and diagnosis methodologies on air-handling units. *Energy and Buildings*, 82:550 – 562, 2014. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005246>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.042>.
- [39] Air handling units. Disponível em <http://theengineeringmindset.com/air-handling-units-explained/>, acessido a última vez a 7 de Novembro de 2018.

- [40] Variable speed drives. Disponível em <https://www.masssave.com/en/saving/business-rebates/variable-speed-drives/>, acessado a última vez a 8 de Novembro de 2018.
- [41] Benefícios de um variador de velocidade. Disponível em <http://www.motorcontrol.pt/quais-os-beneficios-de-um-variador-de-velocidade>, acessado a última vez a 8 de Novembro de 2018.
- [42] Skillcommons: Hvac systems types. Disponível em <https://www.skillscommons.org/bitstream/handle/taaccct/6387/Week%206a%20HVAC%20Types%20jjj.pptx?sequence=10&isAllowed=y>, acessado a última vez a 8 de Novembro de 2018.
- [43] Domingos Silva. *Simulação térmica multizona de um centro social no âmbito do RSECE: Análise de várias soluções AVAC*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, <http://hdl.handle.net/1822/34354>, Outubro 2014.
- [44] University of calgary: Photovoltaic system. Disponível em https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system, acessado a última vez a 6 de Novembro de 2018.
- [45] Direção geral de energia e geologia: Regime jurídico das unidades de produção distribuída. Disponível em http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20151120_filipepinto_7615808675660254a2675c.pdf, acessado a última vez a 6 de Novembro de 2018.
- [46] Greenmatch: Solar panels. Disponível em <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>, acessado a última vez a 6 de Novembro de 2018.
- [47] Electrical characteristics of pv modules. Disponível em http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_electronics.php, acessado a última vez a 6 de Novembro de 2018.