



Hugo Diogo dos Santos Quintas

# Análise de soluções de produção de energia em Complexos Desportivos Caso do Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente  
na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

2014



UNIVERSIDADE DE COIMBRA





FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Análise de soluções de produção de energia em Complexos Desportivos: caso do Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de **Tecnologia e Gestão do Ambiente**

**Autor**

**Hugo Diogo dos Santos Quintas**

**Orientadores**

**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

**Professor Doutor José Carlos Miranda Góis**

**Júri:**

**Presidente** Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Gonçalo Jorge Vieira Nunes Brites  
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor José Carlos Miranda Góis  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



CÂMARA  
MUNICIPAL  
DE  
COIMBRA

**Câmara Municipal de  
Coimbra**

**Coimbra, Setembro, 2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao terminar este trabalho, quero agradecer a todas as pessoas que sempre me apoiaram na sua realização, sem elas a sua conclusão não seria possível.

Ao professor Doutor Adélio Gaspar e professor Doutor José Góis, os maiores agradecimentos por toda a orientação pedida, disponibilidade e paciência.

À câmara municipal de Coimbra pela aprovação do trabalho. A todo o complexo olímpico de piscinas de Coimbra em especial ao engenheiro Paulo Rodrigues, por todo o tempo disponibilizado. Também ao Dolce Vita Coimbra pela disponibilização de toda a informação requisitada em particular ao engenheiro André Coelho.

A toda a minha família por toda a preocupação e motivação ao longo de todo o curso, em particular, ao meu pai, mãe e irmão, a quem devo muito do que sou hoje.

Sem esquecer todas as amizades criadas neste percurso académico, das quais muitas com certeza serão para a vida e fizeram deste tempo uma experiência inesquecível.

## RESUMO

Com a crescente necessidade de recursos energéticos, é imperativo fazer uma gestão mais racional. Neste contexto, este trabalho centra-se no estudo de alternativas tecnológicas que apresentem maior eficiência do que as convencionais, tendo como caso de estudo o conjunto do complexo olímpico de piscinas de Coimbra e o centro comercial Dolce Vita de Coimbra, por forma a proporcionar uma maior saúde financeira e ambiental.

É realizada uma interpretação dos consumos e custos da energia elétrica e térmica dos dois edifícios. Com esta análise a perceção das necessidades energéticas dos dois estabelecimentos ficou clara e assim foram considerados para análise energética três tipos de tecnologia que mais se adequam ao local e às necessidades conjuntas: sistema de cogeração/trigeração, coletores solares e painéis fotovoltaicos.

Para o sistema cogeração/trigeração, não foi possível retirar conclusões, sendo apenas feito um enquadramento teórico e calculados os perfis de utilização. Em relação aos coletores solares e painéis fotovoltaicos, foram feitas as devidas simulações na sua aplicação ao complexo olímpico de piscinas de Coimbra, que permitem retirar as seguintes conclusões: (1) o investimento nos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos é bastante elevado, (2) mesmo assim os dois sistemas apresentam lucro económico no final do tempo de vida (20 anos), (3) em termos energéticos, económicos e ambientais, os resultados são de um modo geral positivos nos cenários considerados.

**Palavras-chave:** Piscinas interiores, Edifícios comerciais, Cogeração, Trigeração, Coletores solares, Painéis fotovoltaicos.

## ABSTRACT

With the growing need for energy resources, it is imperative to make a more rational management. In this context, this paper focuses on the study of technological alternatives that have higher efficiency than the conventional, taking as a case study the Olympic pool complex of Coimbra and Dolce Vita Coimbra shopping center in order to provide a greater financial and environmental health.

An interpretation of the consumption and cost of electricity and thermal energy of the two buildings was made. With this analysis the perception of the energy requirements of the two establishments was clear and so was considered for energy analysis three types of technology that best suit the local and combined needs: cogeneration/trigeneration, solar collectors and photovoltaic system.

For cogeneration/trigeneration system, it was not possible to draw conclusions, being only a theoretical framework and calculated profiles of use. Regarding solar collectors and photovoltaic panels, appropriate simulations were made in its application to the Olympic pool complex of Coimbra, which allow the following conclusions: (1) investment in solar thermal and photovoltaic systems is quite high, (2) still the two systems present economic profit at the end of the lifetime (20 years), (3) in terms of energy, economic and environmental, the results are relatively positive in the scenarios considered.

**Keywords** Indoor pools, Commercial buildings, Cogeneration, Trigeneration, Solar collectors, Photovoltaic panels.

## Índice

Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Simbologia e Siglas .....	viii
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivo .....	1
1.3. Metodologia .....	2
2. Panorama energético.....	3
2.1. Consumo de energia em Portugal .....	6
2.1.1. Caracterização energética nos complexos desportivos com piscina interior... 8	
2.2. Tecnologias emergentes de produção de energia.....	10
2.2.1. Cogeração e legislação aplicável .....	10
2.2.2. Trigeração .....	12
2.2.3. Painéis solares e incentivo legislativo .....	15
3. Caso de estudo .....	21
3.1. Caracterização Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra .....	21
3.2. Evolução anual dos consumos e custos de energia no COPC .....	22
3.2.1. Consumos e custos no ano 2013.....	25
3.3. Caracterização e consumos em 2013 no Dolce Vita de Coimbra.....	27
4. Estudo do aproveitamento solar para produção de água quente e eletricidade no COPC	30
4.1. Área coletora .....	30
4.2. Produção de água quente .....	31
4.2.1. Características dos coletores solares térmicos.....	33
4.2.2. Resultados na produção de água quente para a piscina de 50 metros .....	34
4.3. Produção fotovoltaica .....	38
4.3.1. Características dos painéis fotovoltaicos.....	39
4.3.2. Resultados da produção de eletricidade.....	40
5. Conclusões.....	44
5.1. Trabalhos Futuros .....	45
6. Referências Bibliográficas.....	46
Anexo A– Diferentes tipos de cogeração .....	49
Anexo B– Painéis solares .....	53
Coletores solares térmicos .....	53
Painéis fotovoltaicos.....	56
Anexo C– <i>Solterm 5.0</i> <sup>®</sup> .....	58
Anexo D- Dados equipamentos do DVC .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Evolução do consumo mundial por fonte de energia.....	3
Figura 2.2- Consumo de petróleo por região em milhões de barris diários.....	4
Figura 2.3- Consumo de gás natural por região em biliões metros cúbicos.....	4
Figura 2.4- Consumo de carvão por região em milhões de toneladas de petróleo equivalente .....	5
Figura 2.5- Crescimento da procura de energia mundial.....	5
Figura 2.6- Distribuição do consumo de energia primária por fonte. ....	6
Figura 2.7- Energia elétrica produzida através de fontes de energia renovável.....	7
Figura 2.8- Consumo de energia final por sector. ....	7
Figura 2.9- Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos com piscina interior.....	8
Figura 2.10- Custos médios de energia associados a complexos com piscina de interior. ...	9
Figura 2.11- Distribuição dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto.....	9
Figura 2.12- Eficiência de um sistema de cogeração. ....	10
Figura 2.13- Comparação da eficiência entre um sistema convencional e de cogeração....	11
Figura 2.14- Princípio de funcionamento de um chiller de compressão de vapor. ....	13
Figura 2.15- Princípio de funcionamento de um chiller de absorção.....	14
Figura 2.16- Princípio de funcionamento de um chiller de adsorção.....	14
Figura 2.17- Mapa de quantidade de irradiação solar (kWh/m <sup>2</sup> ) na Europa. ....	15
Figura 2.18- Evolução da potência instalada acumulada dos painéis fotovoltaicos.....	17
Figura 2.19- Funcionamento geral do painel solar fotovoltaico.....	18
Figura 2.20- Evolução da capacidade solar térmica acumulada anualmente em Portugal..	19
Figura 3.1- Variação do número de entradas entre 2010 e 2013.....	22
Figura 3.2- Consumo anual de água entre 2008 e 2013. ....	23
Figura 3.3- Consumo anual de gás natural entre 2008 e 2013. ....	23
Figura 3.4- Consumo anual de eletricidade em 2012 e 2013. ....	24
Figura 3.5- Comparação dos consumos de energia final com base em faturas entre 2012 e 2013.....	25
Figura 3.6- Comparação de custos de energia final com base em faturas entre 2012 e 2013. .....	25
Figura 3.7- Evolução do consumo mensal de energia durante o ano de 2013. ....	26



---

Figura 3.8- Evolução do custo mensal de energia em 2013. ....	26
Figura 3.9- Evolução do consumo de água em 2013. ....	27
Figura 3.10- Variação do consumo de energia elétrica em 2013. ....	28
Figura 3.11- Distribuição do consumo de energia elétrica em 2013. ....	29
Figura 3.12- Distribuição do consumo de energia elétrica na iluminação em 2013. ....	29
Figura 4.1- Área disponível para instalação dos painéis solares. ....	31
Figura 4.2- Investimento necessário em cada tipo de coletor solar. ....	35
Figura 4.3- Proveito final em cada tipo de coletor solar. ....	36
Figura 4.4- Rentabilidade anual em cada tipo de coletor solar. ....	36
Figura 4.5- Consumo evitado para cada tipo de coletor solar. ....	37
Figura 4.6- Emissões evitadas para cada tipo de coletor solar. ....	37
Figura 4.7- Investimento necessário em cada tipo de painel fotovoltaico. ....	41
Figura 4.8- Proveito final em cada tipo de painel fotovoltaico. ....	42
Figura 4.9- Consumo evitado para cada tipo de painel fotovoltaico. ....	42
Figura 4.10- Emissões evitadas em cada tipo de painel fotovoltaico. ....	43
Figura A.1- Cogeração através do ciclo de <i>Brayton</i> . ....	49
Figura A.2- Esquema do ciclo <i>Rankine</i> na cogeração. ....	50
Figura A.3- Funcionamento básico de um sistema de cogeração com ciclo combinado. ...	50
Figura A.4- Funcionamento de um sistema de cogeração com motor alternativo de combustão interna. ....	51
Figura A.5- Funcionamento das microturbinas para aplicação em cogeração. ....	51
Figura A.6- Funcionamento geral das pilhas de combustível. ....	52
Figura A.7- Funcionamento geral de um motor Stirling. ....	52
Figura B.1- Elementos gerais de coletor solar plano. ....	53
Figura B.2- Estrutural geral de um coletor solar parabólico. ....	54
Figura B.3- Princípio geral de funcionamento de coletores tubos de vácuo. ....	55
Figura B.4- Painel com células monocristalinas à esquerda e policristalinas à direita. ....	56
Figura B.5- Painel com células SI amorfo. ....	57
Figura C.1- Interface <i>Solterm 5.0</i> <sup>®</sup> . ....	58
Figura C.2- Análise à produção de água quente da 1 <sup>a</sup> simulação. ....	59
Figura C.3- Análise energética para produção de água quente na 1 <sup>a</sup> simulação. ....	60
Figura C.4- Análise à produção de eletricidade da 1 <sup>a</sup> simulação. ....	63
Figura C.5- Análise energética para produção de eletricidade da 1 <sup>a</sup> simulação. ....	64
Figura D.1- Características dos chillers. ....	67

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Vantagens, desvantagens e tipos de cogeração. ....	12
Tabela 2.2- Resumo do “Programa Renováveis na Hora”. ....	16
Tabela 2.3- Estado do “Programa Renováveis na Hora” em 2013.....	16
Tabela 2.4- Dados energéticos, económicos e ambientais de uma simulação para uma piscina em Montemor-o-Velho .....	18
Tabela 2.5- Análise económica do funcionamento de coletores solares numa piscina em Hong Kong .....	20
Tabela 3.1- Áreas disponíveis. ....	22
Tabela 4.1- Consumo mensal de água quente. ....	31
Tabela 4.2- Consumo horário em percentagem da piscina de 50 metros. ....	32
Tabela 4.3- Caracterização dos coletores solares.....	33
Tabela 4.4- Variação das principais características dos coletores solares em cada simulação.....	34
Tabela 4.5- Principais resultados energéticos e económicos em cada coletor solar.....	35
Tabela 4.6- Consumo eletricidade no COPC em 2013.....	38
Tabela 4.7- Características dos painéis fotovoltaicos.....	39
Tabela 4.8- Variação das principais características em cada simulação. ....	40
Tabela 4.9- Principais resultados energéticos e económicos em cada painel fotovoltaico. ....	41
Tabela B.1- Características dos principais tipos de coletores solares. ....	55
Tabela B.2- Rendimento típico das diferentes células nos sistemas fotovoltaicos. ....	57
Tabela C.1- Características dos depósitos adaptados. ....	59
Tabela C.2- Índices anuais nas simulações em estudo na produção de água quente. ....	61
Tabela C.3- Informação adicional para cada simulação.....	62
Tabela C.4- Índices anuais nas simulações em estudo na produção de eletricidade. ....	65
Tabela C.5- Dados extra de cada simulação.....	66
Tabela C.6- Tipo de combinações de inversores utilizadas em cada simulação. ....	66
Tabela D.1- Características do banco de gelo. ....	67

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$Q_{in}$  - Calor fornecido [J]

$Q_{out}$  - Calor de saída [J]

$W_{in}$  - Trabalho fornecido [J]

$\eta_0$  - Rendimento ótico [%]

$a_1$  - Coeficiente global de perdas [ $W/m^2/K$ ]

$a_2$  - Coeficiente secundária de perdas [ $W/m^2/K^2$ ]

### Siglas

COPC - Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

DVC - Dolce Vita Coimbra

CMC - Câmara Municipal de Coimbra

UE - União Europeia

SEN - Sistema Elétrico Nacional

GEE - Gases de Efeito Estufa

AQS - Águas Quentes Sanitárias

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

O consumo em termos energéticos a nível mundial tem vindo a aumentar, acompanhando o crescimento populacional, o uso crescente de energia para produção industrial e o conforto doméstico. Por isso a necessidade de uma maior gestão e mais eficaz dos recursos é fundamental para que haja um futuro sustentável.

Para edifícios de dimensões consideráveis que habitualmente apresentam grandes necessidades energéticas, como é o caso do Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (COPC) e o centro comercial Dolce Vita Coimbra (DVC), as reduções nas faturas do consumo energético tornam-se ainda mais urgentes, para poder prestar um serviço mais barato à sociedade. Para além disto, permitirá reduzir as emissões gasosas associadas à produção de energias convencionais.

Nestes dois edifícios o consumo de energia acontece durante as 24 horas, pois há muitos equipamentos que não param de trabalhar devido às grandes necessidades térmicas existentes. Por isso é importante perceber se as alternativas para produção de energia a considerar, sistemas de cogeração/trigeração e painéis solares, serão viáveis para este caso e em que ordem de grandeza é que deverão ser aplicadas.

## 1.2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo verificar em que medida as alterações tecnológicas propostas serão benéficas para o COPC e DVC. Através de uma comparação com edifícios de características semelhantes, faz-se um estudo de “*benchmarking*” para servir de comparação com os resultados do caso de estudo. Para além disto, este trabalho tem como principal propósito analisar a viabilidade técnica e económica de tecnologias alternativas que possam ser implementadas nestes edifícios e também diminuir a dependência de energia convencional por parte destes edifícios.

Se os resultados forem positivos, pretende-se alargar algumas medidas a outros complexos de características semelhantes para melhorar a eficiência e evitar perdas desnecessárias, que em tanto prejudicam a nossa economia.

### **1.3. Metodologia**

Este estudo desenvolveu-se em várias fases de acordo com os objetivos estabelecidos e a aprovação do trabalho por parte da Câmara Municipal de Coimbra (CMC):

- Numa primeira fase, com a necessidade de enquadramento com o tema é realizada uma pesquisa de carácter teórico, para assim haver um melhor entendimento das questões atuais relacionadas com o tema e também perceber qual o melhor caminho a dar ao trabalho;
- De seguida, no estado da arte, é realizado um enquadramento geral relacionado com o consumo de energia a nível mundial e nacional. Aprofunda-se o conhecimento das tecnologias que irão ser utilizadas, para a redução do consumo energético, sendo elas a cogeração/trigeração e os painéis solares (térmicos e fotovoltaicos);
- Numa terceira fase, é feita uma análise aos consumos e custos associados aos edifícios em análise, para haver um melhor entendimento das necessidades de cada um e os pontos onde seria possível efetuar melhorias;
- Por último, com os dados fornecidos pelo COPC são realizadas simulações através do *Solterm 5.0*<sup>®</sup>, para obter a quantidade de energia solar útil mensal e anual, procedendo posteriormente a uma análise de viabilidade, técnica e económica, da instalação e exploração de sistemas para produção de energia fotovoltaica e térmica para o COPC.

## 2. PANORAMA ENERGÉTICO

Com o aumento do consumo de energia a nível mundial, é absolutamente necessário a implementação de sistemas que aumentem a eficiência energética e diminuam a dependência de combustíveis fósseis. Isto pode ser conseguido através de uma maior exploração de energia produzida a partir de fontes renováveis. Contudo, os combustíveis fósseis são ainda os mais utilizados para a geração de energia, como fica demonstrado na Figura 2.1.

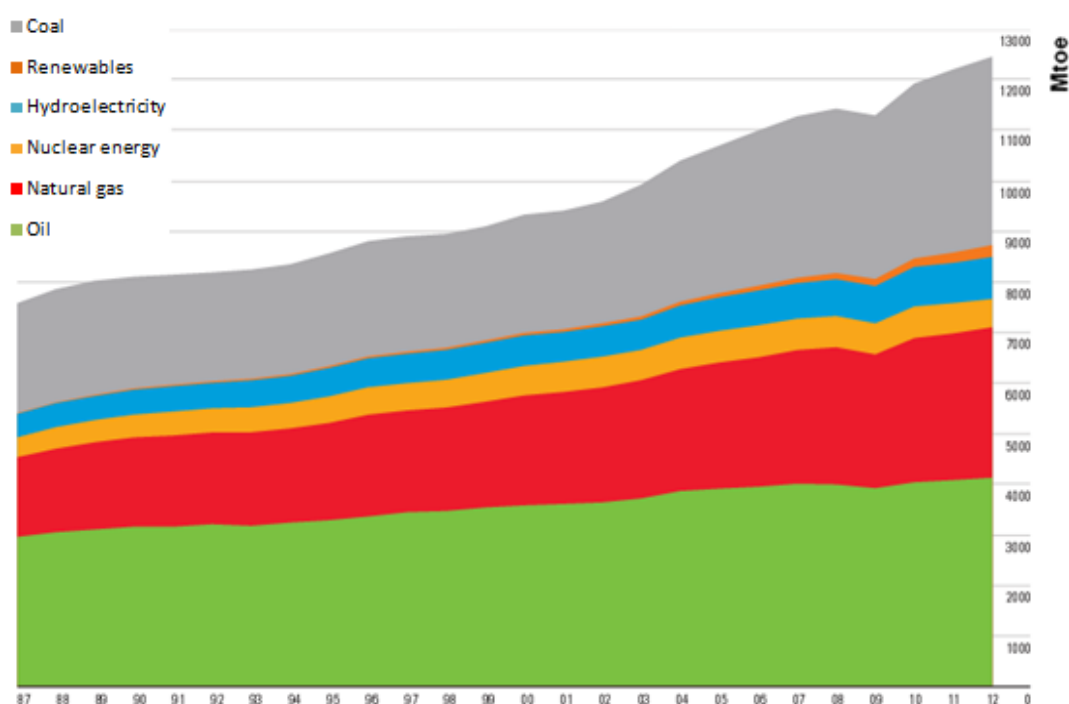


Figura 2.1- Evolução do consumo mundial por fonte de energia (BritishPetrol, 2013).

Os três combustíveis fósseis mais utilizados são o petróleo, gás natural e carvão, sendo que todos eles têm contribuições diferentes a nível ambiental, económico e de disponibilidade. De modo a conhecer a evolução destes três combustíveis, apresenta-se na Figura 2.2, Figura 2.3 e Figura 2.4 a sua evolução ao longo do tempo em cada região do globo.

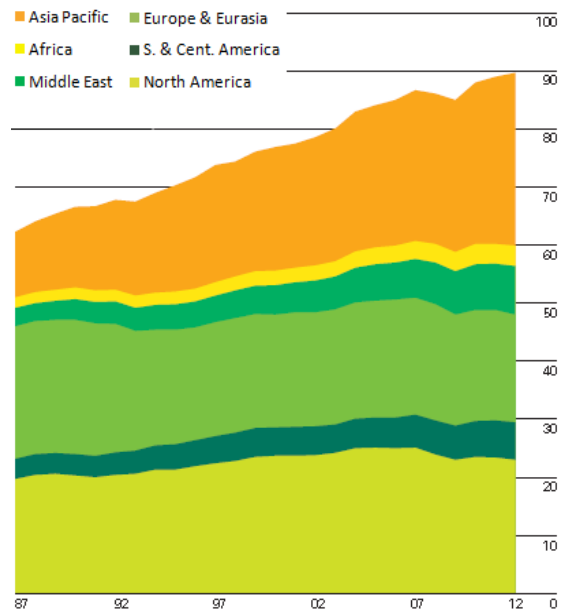


Figura 2.2- Consumo de petróleo por região em milhões de barris diários (BritishPetrol, 2013).

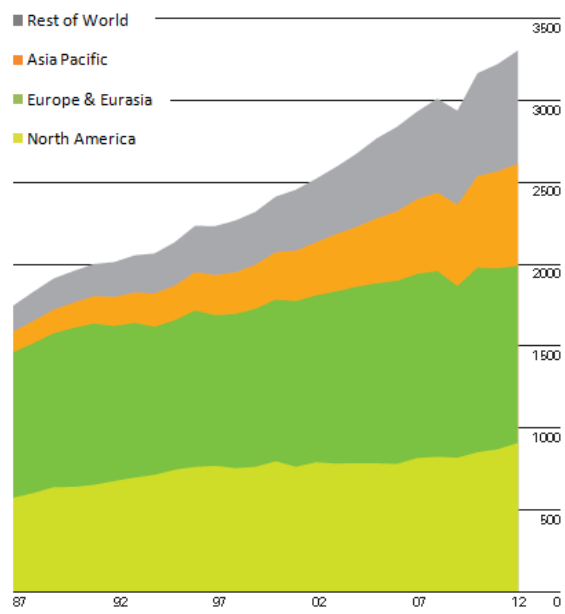
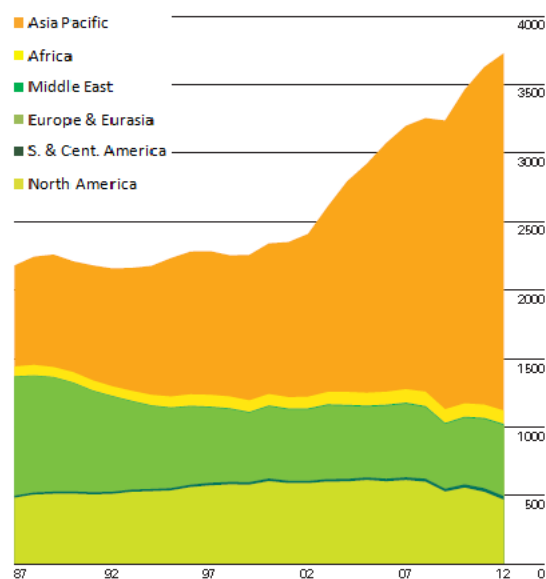


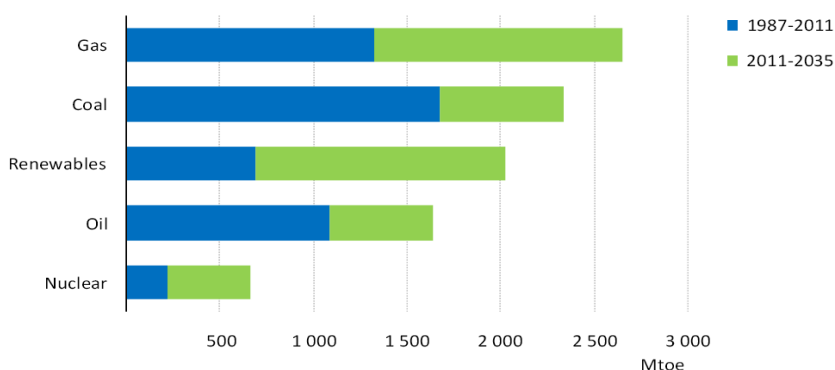
Figura 2.3-Consumo de gás natural por região em bilhões metros cúbicos (BritishPetrol, 2013).



**Figura 2.4-Consumo de carvão por região em milhões de toneladas de petróleo equivalente (BritishPetrol, 2013).**

O petróleo apresenta um aumento significativo de utilização na Ásia, sendo que a Europa e a América do Norte têm ainda consumos significativos. No caso do gás natural é registado um crescimento em todas as zonas do mundo e entre os combustíveis fósseis apresenta-se como o mais ecológico, mais cómodo e com a melhor relação preço-qualidade. O carvão é o recurso mais abundante e económico, apesar de ser também o mais poluente. Grande parte do seu consumo acontece na Ásia, mais concretamente na China e Índia.

A evolução do consumo de energia por fonte é exposta na Figura 2.5. É previsível que as energias renováveis e o gás natural apresentem um grande crescimento enquanto o carvão e o petróleo tenha uma diminuição acentuada de utilização.



**Figura 2.5- Crescimento da procura de energia mundial (InternationalEnergyAgency, 2013).**

Para uma maior regulação da gestão de energia é cada vez mais frequente o lançamento de diretivas europeias e protocolos internacionais que obriguem os países a



cumprir determinados parâmetros, de modo, a que possuam uma maior saúde energética. A exploração de energias renováveis é cada vez mais incentivada, assim como a utilização de equipamentos mais recentes ou remodelação dos já existentes para que haja uma maior eficiência energética (Krajacic, *et al.*, 2011).

As estratégias energéticas da União Europeia (UE) têm sido mais focadas nas energias renováveis e em políticas que aumentem a diversificação das fontes de energia, para haver uma menor dependência do fornecimento de energia e diminuição de emissões gasosas. Um dos casos é o lançamento da Diretiva 2009/28/CE, a 23 de Abril, que revoga as diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Esta tem como objetivo uma meta obrigatória de 20 % para a geração de energia de consumo da UE a partir de fontes de energia renováveis até 2020, uma meta obrigatória de 10 % para a utilização de biocombustíveis no consumo de combustíveis para transportes até 2020 e a criação de um novo quadro legislativo.

## 2.1. Consumo de energia em Portugal

Em Portugal tem-se verificado ao longo dos últimos anos um aumento das fontes renováveis em detrimento de utilização de fontes fósseis, principalmente de petróleo. Esta variação acontece sobretudo devido aos protocolos internacionais e diretivas europeias referidas. Portugal tem ainda ao seu dispor condições notáveis para exploração deste tipo de recursos como por exemplo: hídrica, eólica, solar e biomassa (DGEG, 2012).

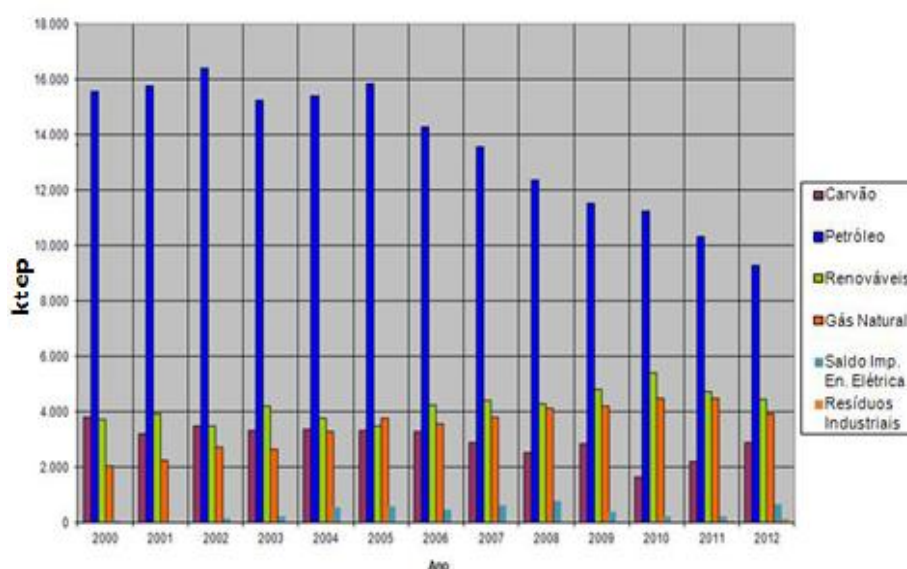


Figura 2.6- Distribuição do consumo de energia primária por fonte (DGEG, 2012).

A produção de energia elétrica em Portugal através de energias renováveis neste momento incide basicamente em duas fontes: eólica e hídrica. Seria de esperar que a energia proveniente das ondas e a solar fotovoltaica tivessem neste momento mais expressão tendo em conta o comprimento de costa que Portugal apresenta e o número de horas de sol por ano, principalmente na região sul.

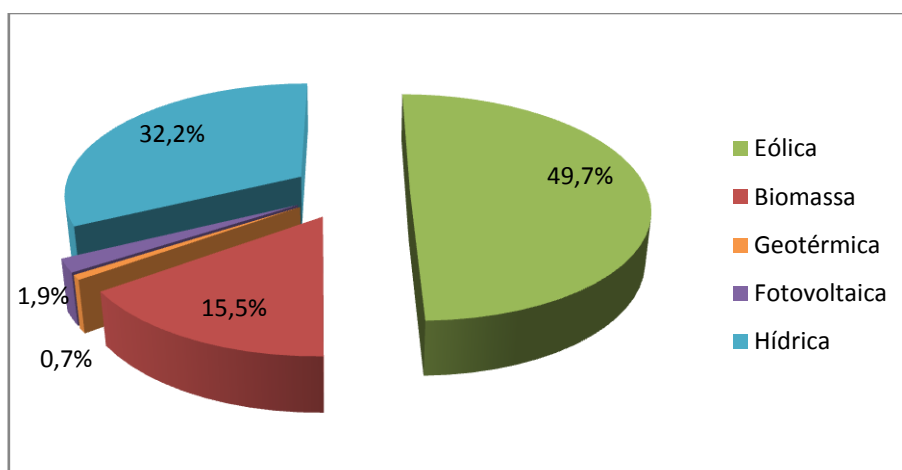


Figura 2.7- Energia elétrica produzida através de fontes de energia renovável (DGEG, 2012).

A distribuição do consumo de energia em Portugal no ano de 2012 é descrita na Figura 2.8, sendo que as piscinas se inserem no sector dos serviços. Dentro deste sector é de realçar que as atividades com consumos mais significativos são os restaurantes, piscinas e hipermercados, com um consumo específico de energia, de 800 kWh/m<sup>2</sup>, 460 kWh/m<sup>2</sup> e 320 kWh/m<sup>2</sup> respetivamente (Eficiência Energética, 2012).

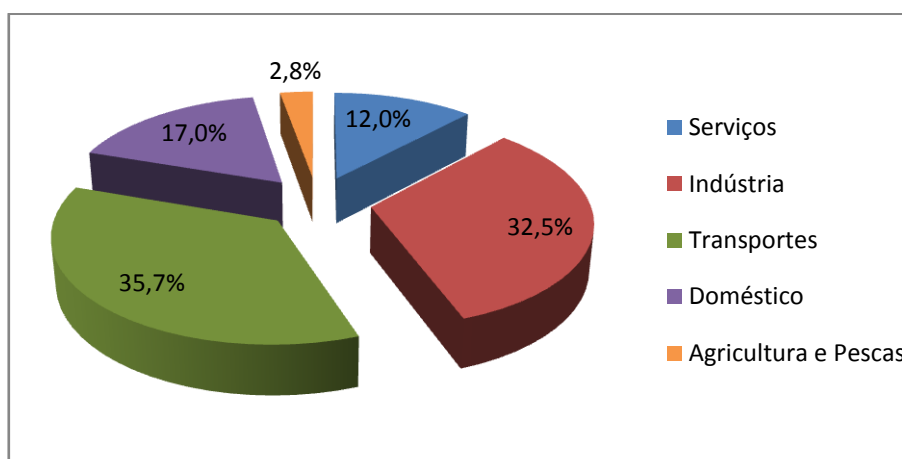


Figura 2.8- Consumo de energia final por sector (DGEG, 2012).

### 2.1.1. Caracterização energética nos complexos desportivos com piscina interior

Complexos desportivos têm a si associados consumos de energia que não podem ser comparados aos edifícios de serviços ou de habitações. A necessidade de energia destes edifícios varia muito em função do desporto que lá é praticado, do tipo de estrutura, da localização e das horas de funcionamento.

No caso de complexos desportivos com piscinas as necessidades de energia são maiores do que em qualquer outra prática desportiva, pois há necessidades de energia elétrica e térmica, para a manutenção da água da piscina, da temperatura ambiente e da humidade relativa (BRESCU, 1998).

Segundo o departamento do Ambiente, Transporte e Eficiência Energética, do Reino Unido (DETREE, 2013), considerando uma base de boas práticas, a Figura 2.9 mostra a estimativa e distribuição dos consumos de energia, neste tipo de edifícios. Verifica-se que a energia térmica ocupa 78% enquanto a energia elétrica apenas 22%.

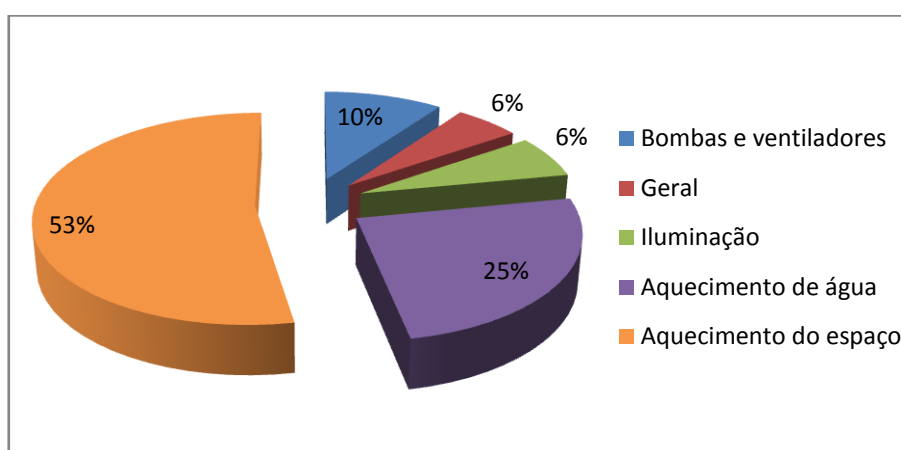


Figura 2.9- Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos com piscina interior (DETREE, 2013).

Relativamente aos custos associados, não é a energia térmica que fica com a maior fatia, mas sim a energia elétrica como se pode verificar na Figura 2.10.

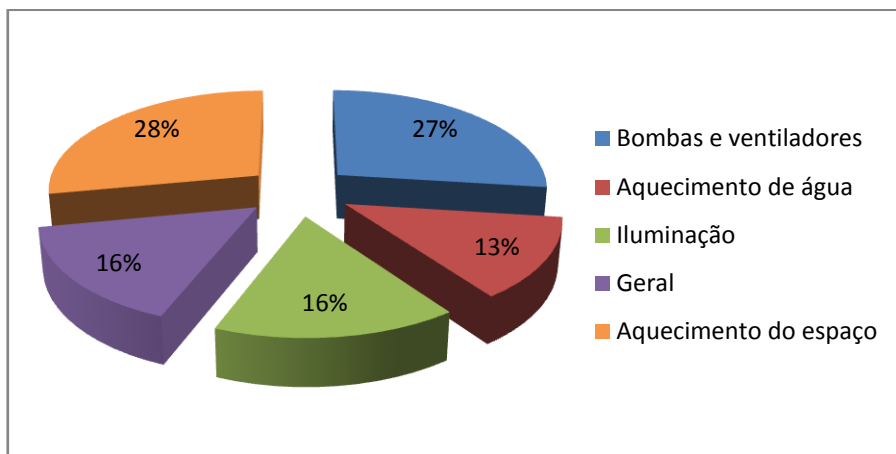


Figura 2.10- Custos médios de energia associados a complexos com piscina de interior (DETERE, 2013).

Em Portugal, segundo J. Pires (2014) existem cerca de 310 piscinas municipais cobertas, o que representa um consumo anual de 43 GWh. Para estimar as necessidades de energia de uma piscina coberta o mesmo autor utilizou o programa de simulação, TRNSYS, para uma piscina localizada na cidade do Porto, concluindo que representa cerca de 180 tep/ano e que se distribui de acordo com a Figura 2.11.

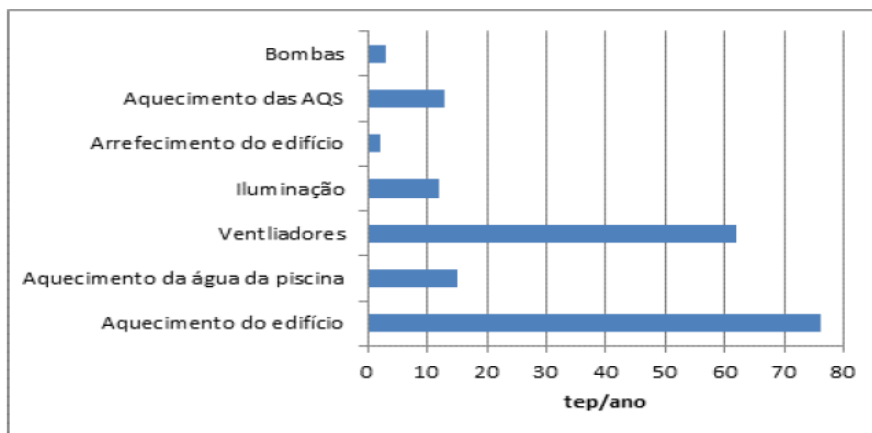


Figura 2.11- Distribuição dos consumos anuais de energia de uma piscina coberta na cidade do Porto (adaptado de Pires, 2014).

## 2.2. Tecnologias emergentes de produção de energia

### 2.2.1. Cogeração e legislação aplicável

Os sistemas de cogeração têm como objetivo produzir energia elétrica e térmica através da mesma energia primária, reduzindo assim o consumo desta, as emissões para a atmosfera e as perdas térmicas em relação aos sistemas convencionais (Desideri, 2011).

Com a necessidade de redução nos consumos energéticos, a cogeração aparece como uma alternativa viável para alguns casos. De um modo geral, uma central termoelétrica converte 30% a 40% da energia primária em eletricidade, com a aplicação da cogeração é de esperar um aumento muito significativo, pois para além de eletricidade o sistema passa a produzir também energia térmica, aumentando a sua eficiência em valores que podem chegar a 85-95% e reduz as emissões de dióxido de carbono e óxidos de azoto, em cerca de 59% e 26% respetivamente (Radulovic *et al.*, 2012).

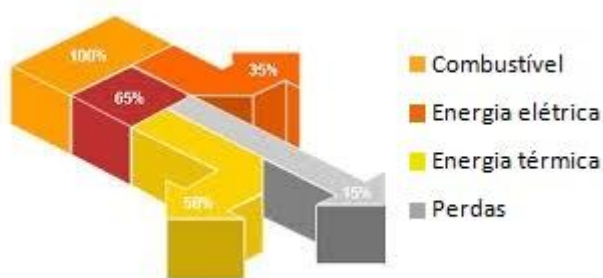


Figura 2.12- Eficiência de um sistema de cogeração (Galp Energia, 2011).

A cogeração foi verdadeiramente impulsionada quando o Decreto-Lei n.º538/99 de 13 de dezembro, com as modificações introduzidas pelos Decreto-Lei n.º312/2001 e n.º313/2001, ambos de 10 de dezembro, que estabeleceram as regras aplicáveis à cogeração. Porém o sector energético, de uma forma geral, e o sector elétrico, de uma forma particular, conheceram novos desafios organizacionais e ambientais. A par disto o desenvolvimento do mercado interno da energia e a aprovação da Diretiva 2003/54/CE, de 26 de junho, aprofundou as reformas liberalizadoras na operação do mercado do sector. O enquadramento legal nacional foi principalmente traduzido pelo Decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de fevereiro, que definiu as bases gerais da organização e funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (SEN) e pelo Decreto-Lei n.º172/2006, de 23 de agosto, que desenvolve essas bases.

A Diretiva 2004/8/CE, do Parlamento Europeu do Conselho, de 11 de fevereiro, teve por base a promoção da cogeração e a alteração da Diretiva 92/42/CEE, de 21 de maio, tornando necessária a adaptação do regime da atividade de cogeração.

A 25 de março entrou em vigor o Decreto-Lei n.º 23/2010, que estabeleceu a disciplina da atividade de cogeração e procede à transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva 2004/8/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de fevereiro de 2004 (DL 23, 2010).

O aumento de eficiência energética é acompanhado de uma série de benefícios que podem ser facilmente encontrados, como por exemplo, a redução na fatura dos utentes, menor necessidade de energia primária, menor exploração de combustíveis fósseis e menos emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (Radulovic *et al.*, 2012). Na Figura 2.13 é visível esse aumento de eficiência do qual a cogeração é responsável, em comparação com um sistema convencional.

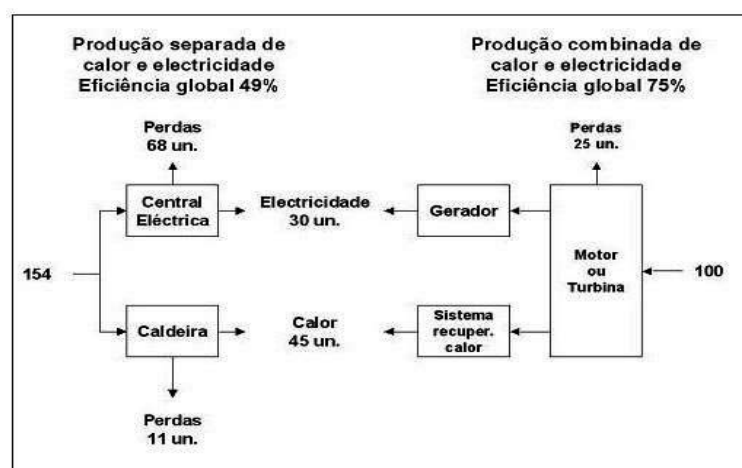


Figura 2.13- Comparação da eficiência entre um sistema convencional e de cogeração (planetazul, 2014).

A cogeração é um processo que apresenta os seus benefícios como já ficou comprovado, no entanto, também tem os seus inconvenientes. Para uma melhor elucidação listam-se na Tabela 2.1 alguns desses pontos, assim como diferentes tipos de tecnologia de cogeração que podem ser considerados (Brandão, 2004).

**Tabela 2.1- Vantagens, desvantagens e tipos de cogeração (Brandão, 2004).**

Cogeração	
Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição no consumo de energia primária;</li> <li>• Redução na emissão de poluentes;</li> <li>• Benefícios económicos;</li> <li>• Aumento da fiabilidade do aprovisionamento energético;</li> <li>• Aumento da estabilidade do sistema energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de estudos para analisar a fiabilidade;</li> <li>• Investimento inicial;</li> <li>• Problemas com poluição sonora.</li> </ul>
Tecnologias de cogeração	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbina de gás;</li> <li>• Turbina de vapor;</li> <li>• Ciclo combinado;</li> <li>• Motor alternativo de combustão interna (Diesel ou Otto);</li> <li>• Microturbinas;</li> <li>• Células/Pilhas de combustível;</li> <li>• Motores Stirling.</li> </ul>	

### 2.2.2. Trigeração

O aumento das necessidades térmicas, frio e calor, nos edifícios fez com que houvesse a urgência de encontrar uma tecnologia que resolvesse este problema. É aqui que aparece a trigeração como um método capaz de produzir três tipos de energia. Ao contrário da cogeração que beneficia de mais de 100 anos de estudos, a trigeração ainda é relativamente recente, tendo surgido em meados de 1980. Tem como principal aplicação os edifícios de serviços como: hospitais, hotéis e edifícios de escritórios (Deng *et al.*, 2011).

A trigeração caracteriza-se pela incorporação de chillers, existindo três tipos: absorção, adsorção e compressão de vapor. Ainda de referir, que os chillers de absorção podem dividir-se em: ignição direta ou indireta e efeito simples ou duplo (CEEETA, 2001).

Os chillers de absorção diferem dos de compressão de vapor no facto de nos primeiros o arrefecimento ser impulsionado por energia térmica, enquanto nos de compressão de vapor é devido à energia mecânica. Sendo assim, os chillers de compressão de vapor utilizam um compressor mecânico, normalmente acionado por um motor eléctrico,

para aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema, este apresenta como grande desvantagem o elevado consumo de energia elétrica, o princípio geral de funcionamento encontra-se na Figura 2.14. Por seu lado os chillers de absorção apresentam um “compressor termoquímico”, assim estes conseguem produzir água gelada a partir de uma fonte de calor, utilizando uma solução de brometo de lítio-água ou amônia-água (NBISCGC, 1998). Os chillers de absorção trabalham sobre duas temperaturas, uma correspondente ao condensador-gerador (alta temperatura) e outra ao evaporador-absorvedor (baixa temperatura). Esta diferença de temperatura permite que o refrigerante rejeite calor para a água a temperaturas razoáveis (Bhatia, 2004), o princípio geral de funcionamento encontra-se na Figura 2.15.

Os chillers de absorção apresentam dois tipos de ignição:

- Direto: o calor necessário é obtido diretamente da queima de um combustível, geralmente gás natural.
- Indireto: o calor é fornecido sob a forma de vapor de baixa pressão, água quente ou de um processo de purga quente.

Para além do tipo de ignição, também podem ser de simples ou duplo efeito.

- Simples efeito: consiste na transferência do fluido pelos quatros principais constituintes: evaporador, absorvedor, gerador e condensador.
- Duplo efeito: a principal diferença é que apresenta dois condensadores e dois geradores, o que permite obter maior eficiência.

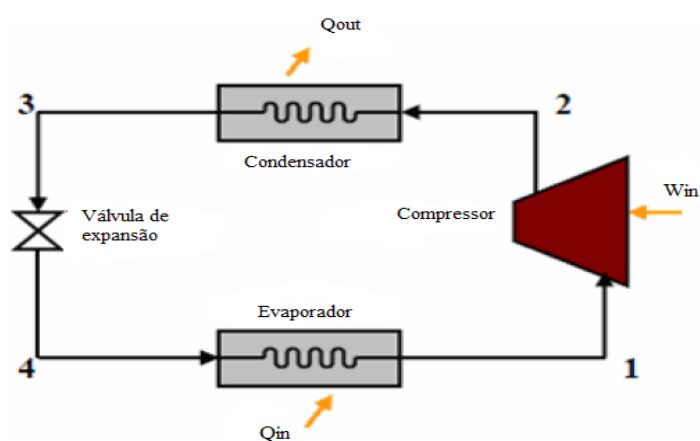
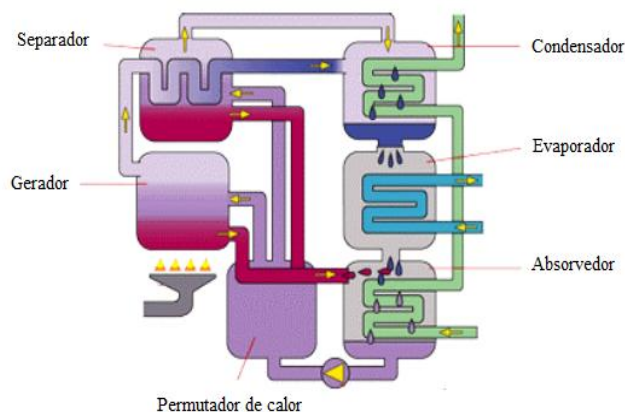


Figura 2.14- Princípio de funcionamento de um chiller de compressão de vapor (adaptado de Bhatia, 2004).



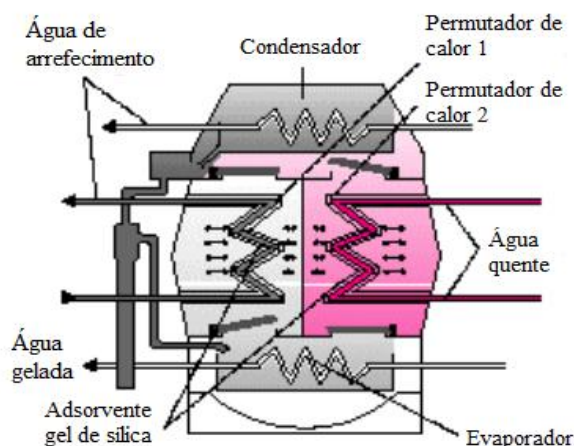


**Figura 2.15-** Princípio de funcionamento de um chiller de absorção (CEEETA, 2001).

O chiller de adsorção é uma instalação com capacidade para converter calor em frio usando calor residual. Estes utilizam água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. Há também a possibilidade de se utilizar carvão ativado ou resina sintética como adsorvente nos processos industriais, para purificar a água ou para secar (com a adsorção da água). A adsorção é um fenómeno de adesão reversível, da qual resulta a acumulação de uma substancia gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. Quando as moléculas são fixadas libertam energia, pois a adsorção é um processo exotérmico.

Os chillers de adsorção com gel de sílica têm a capacidade de conseguir funcionar com temperaturas inferiores a 80° C, o que os torna mais interessante do que os chillers de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura, como por exemplo integrados com sistemas solares térmicos (CEEETA, 2001).

Na Figura 2.16 encontra-se descrito o princípio de funcionamento geral do chiller de adsorção.



**Figura 2.16-** Princípio de funcionamento de um chiller de adsorção (CEEETA, 2001).

### 2.2.3. Painéis solares e incentivo legislativo

Os painéis solares apresentam-se como uma fonte de produção de energia bastante competente há já algum tempo. Portugal é privilegiado de uma localização acima da média na Europa para explorar este recurso, pois é dos países que por  $\text{m}^2$  mais energia solar recebe, como se verifica na Figura 2.17.

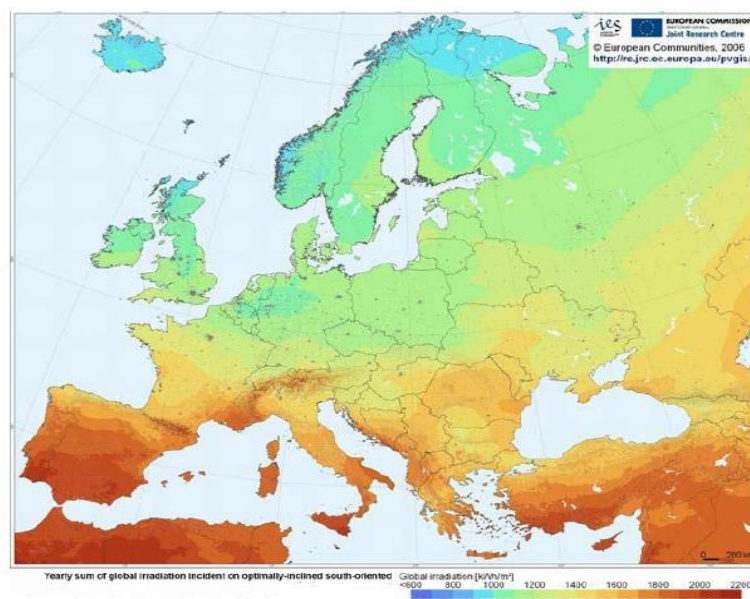


Figura 2.17- Mapa de quantidade de irradiação solar ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) na Europa (EuropeanCommission2012).

Em Portugal os edifícios residenciais e de serviços são responsáveis por mais de 60% do consumo de eletricidade, tendo assim um grande impacto nas emissões GEE, quando a produção de eletricidade é realizada (Borges, 2008). Com isto, aparece o “Programa Renováveis na Hora”, programa que visa promover a substituição do consumo de energia fóssil por energia renovável, através da maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração de energia elétrica e de aquecimento solar de Águas Quentes Sanitárias (AQS). Na Tabela 2.2 segue um resumo do programa.

**Tabela 2.2- Resumo do “Programa Renováveis na Hora” (resolução ministros, 2008).**

<b>Objetivo</b>	Promover a substituição do consumo de energia não renovável por energia renovável através da maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração e de aquecimento solar.	
	<b>Renováveis na Hora: Micro-geração</b>	<b>Renováveis na Hora: Programa Solar Térmico</b>
	<p>Sistema simplificado de registo para instalação de micro-geração renovável até 5 kW</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 MW por ano a crescer 20% ano</li> </ul> <p>Obrigatoriedade de instalação de 2 m<sup>2</sup> de solar térmico para aceder à tarifa bonificada</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimado em cerca de 1 m<sup>2</sup> por kW instalado</li> </ul> <p>Isenção de licenciamento camarário para pequenas instalações</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio à revitalização de equipamentos de solar térmico existentes</li> </ul> <p>Programa de incentivos para instalação de novo solar térmico</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Benefício fiscal até 30% do investimento em sede de IRS</li> </ul> <p>Obrigatoriedade de instalação de solar térmico nos novos edifícios</p> <p>Programa orientado a segmentos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Habitações sociais</li> <li>• Piscinas e balneários</li> <li>• Condomínio Solar</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 165 MW de capacidade instalada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 em cada 15 edifícios com solar térmico</li> </ul>

Apesar da entrada em vigor deste programa em 2008, até 2013 apenas 28% da energia tinha sido poupada, isto tendo em conta que a meta em 2016 ambicionava chegar aos 73,6 tep de energia produzida, como é demonstrado na Tabela 2.3. É então fácil de perceber que os incentivos criados não foram suficientes até aqui para promover na sociedade portuguesa este tipo de tecnologia.

**Tabela 2.3- Estado do “Programa Renováveis na Hora” em 2013 (resolução ministros, 2013).**

Programa	Código da medida	Energia poupada (tep)	Meta 2016 (tep)	Execução em relação à meta de 2016
		Final	Final	
Renováveis na Hora	R&S6M2 – Solar Térmico Residencial	16303	73607	28 %
	R&S6M2 – Solar Térmico Serviços	4532		

## Painéis solares fotovoltaicos

Embora a evolução recente desta tecnologia tenha sido notável, o grande inconveniente das células fotovoltaicas continua a ser o seu preço elevado, quando comparado com as tecnologias mais usadas para produção de eletricidade. No entanto, o leque de aplicações tem vindo a crescer cada vez mais, resultado de descobertas tecnológicas e do decréscimo do custo de produção das células. A disponibilidade de sol em praticamente todo o lado e a modularidade dos sistemas são os seus principais pontos fortes. Em grande parte deve-se a um crescimento exponencial da produção de células fotovoltaicas, que hoje se acentua cada vez mais. Nas décadas de oitenta e noventa, a produção de células fotovoltaicas cresceu a uma taxa superior a 15% por ano. Essa taxa aumentou para 30% nos primeiros anos deste novo século. No entanto, grande parte deste crescimento recente deveu-se a uma aposta de diversos governos, que decidiram apoiar a instalação de painéis solares fotovoltaicos nos seus países (Proença, 2007).

Na Figura 2.18 é demonstrado a evolução da potência instalada acumulada de painéis fotovoltaicos nas diferentes regiões do mundo.

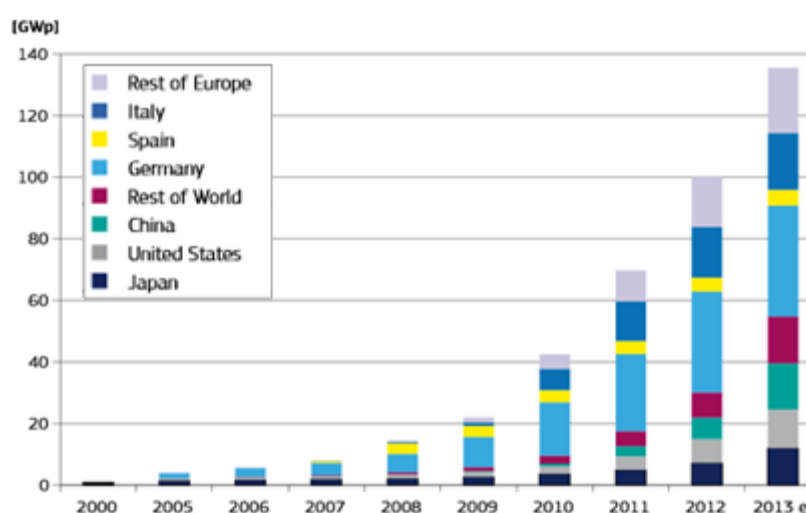
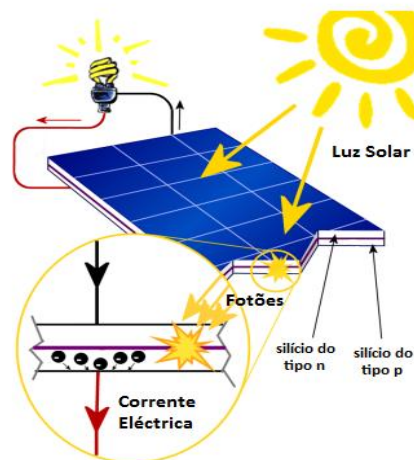


Figura 2.18- Evolução da potência instalada acumulada dos painéis fotovoltaicos (EuropeanCommission, 2013).

Esta tecnologia tem como objetivo o aproveitamento da radiação solar para produção de eletricidade. O princípio de funcionamento consiste numa junção de duas camadas bastante finas de diferentes matérias semicondutores denominados de tipo-n (negativo) e de tipo-p (positivo). Quando os fotões de luz solar entram em contacto com o material semicondutor do tipo-n, este liberta eletrões que por sua vez irão migrar para a

camada tipo-p, criando assim uma diferença de potencial e também de electricidade (USDE, 1982). Este processo apresenta-se esquematizado na Figura 2.19.



**Figura 2.19- Funcionamento geral do painel solar fotovoltaico (Central eléctrica, 2011).**

Com o intuito de conhecer os impactos energéticos, económicos e ambientais da instalação de um sistema fotovoltaico, T. Duarte (2010) utilizou o *Solterm 5.1*<sup>®</sup>, para uma piscina localizada em Montemor-o-Velho, tendo chegado aos resultados apresentados na Tabela 2.4. Estes dados são para uma área de 30,2 m<sup>2</sup>, cuja potência nominal dos painéis é 4,2 kW. O autor inicialmente utilizou um preço de 0,0726 (€/kWh) para a electricidade, que era este o preço de mercado na altura. No entanto, o sistema desta maneira não seria rentável e foi considerado um preço de 0,2723 (€/kWh), que poderia ser conseguido se a venda da electricidade fosse realizada à rede.

**Tabela 2.4-Dados energéticos, económicos e ambientais de uma simulação para uma piscina em Montemor-o-Velho (adaptado de T. Duarte, 2010)**

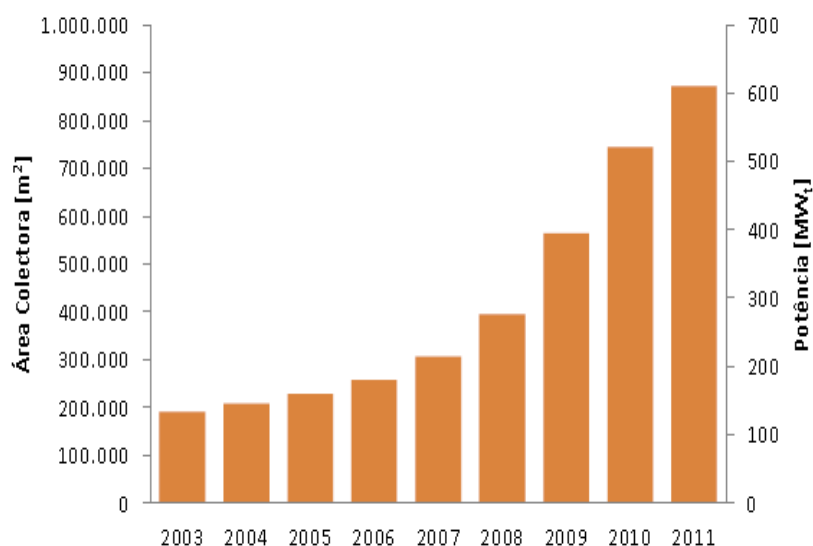
Custos de investimento (€)	Consumo de energia evitada (kWh/ano)	Poupanças (€/ano)	Consumo evitado (GJ/ano)	Emissões evitadas (kg CO <sub>2</sub> eq/ ano)
23084	4407	1200	2,06	126

### Coletores solares térmicos

Um coletor solar tem como função converter a energia absorvida pelo sol em energia térmica, através da transferência dessa energia para um fluido (ar, água ou um óleo). A energia solar absorvida é levada diretamente do fluido para a água quente, equipamentos de ar condicionado, ou tanques de armazenamento para ser utilizada durante a noite. Existem sistemas mais complexos como torres solares e coletores parabólicos que

são geralmente usados em centrais solares onde é produzida eletricidade através do aquecimento de água e produção de vapor que aciona a turbina, encontrando-se esta ligada a um gerador elétrico. Os mais simples são os usados normalmente em edifícios residenciais e comerciais (Kalogirou, 2004). Existem dois tipos de sistemas, com concentração e sem concentração, no presente trabalho apenas os sistemas sem concentração irão ser tratados.

A utilização de coletores solares em Portugal tem vindo a crescer, apesar de a velocidade de implementação deste tipo de dispositivos estar a diminuir. A Figura 2.20 demonstra a potência instalada acumulada de 2003-2011.



**Figura 2.20- Evolução da capacidade solar térmica acumulada anualmente em Portugal (Duarte, 2012).**

Segundo Chow *et al.*, (2012), a aplicação destes sistemas em piscinas públicas é de grande interesse. O mesmo autor realizou um estudo para uma piscina pública interior em Hong Kong, onde considerou a produção de água quente e aquecimento do espaço com 5 meses de operação de novembro a março e o programa de cálculo utilizado foi o TRNSYS.

Na Tabela 2.5 está representado os custos totais, as poupanças de energia e o *payback* para cada área que o autor considerou na análise.

**Tabela 2.5- Análise económica do funcionamento de coletores solares numa piscina em Hong Kong (adaptado, Chow *et al.*, 2012)**

Área	Custos (€)	Poupanças de energia (MWh)	<i>Payback</i> (anos)
100	118651	248	5,48
250	128377	252	5,26
500	143938	294	5,06
750	174087	328	4,99
1000	182840	387	4,78
1200	188675	414	4,71
1400	200346	428	4,83

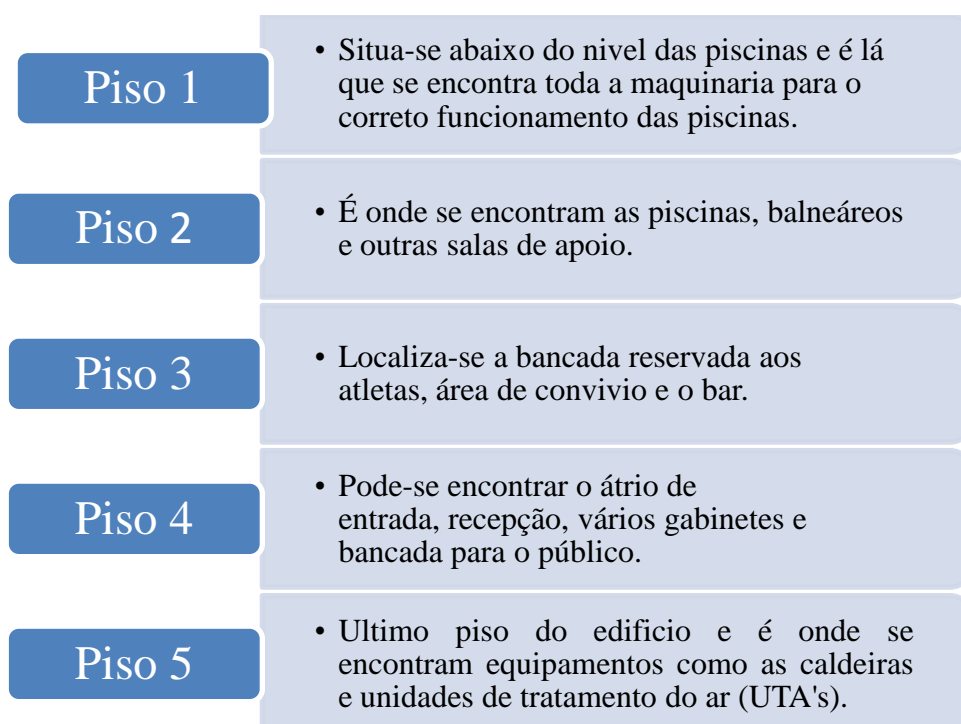
Como seria de esperar, quanto maior a área de coletores maior os custos associados, pois mais coletores serão necessário e outros acessórios, como tanques para a água e bombas. Com recurso ao *payback* verifica-se que a área ideal de implementação de coletores é 1200 metros. Neste caso o tempo de espera para haver benefícios económicos é menor, ou seja, as poupanças energéticas superam os custos mais depressa, seria a área mais interessante para uma possível implementação dos coletores nestas piscinas.

### 3. CASO DE ESTUDO

#### 3.1. Caracterização Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

O Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (COPC) localiza-se em Coimbra, na freguesia de Santo António dos Olivais. Foi inaugurado em Julho de 2005 e conta com características únicas para a prática desportiva no distrito. As instalações contam com uma piscina olímpica com 50x25m, uma profundidade que varia de 2m até 2,25m e 10 pistas. Encontra-se preparado para natação de formação e competição (incluindo provas internacionais de alta competição), existem também bancadas com capacidade para 670 espetadores. Para além desta, existe outra piscina com 25x12,5m, profundidade que varia de 1,2m a 1,8m e 6 pistas.

O edifício é composto por 5 pisos, com as características referidas no esquema seguinte.



Em relação à área, o COPC tem diferentes disponibilidades nos diferentes pisos, como fica ilustrado na Tabela 3.1. Para a possível instalação dos painéis solares existe uma área total de aproximadamente 5000 m<sup>2</sup> e uma área útil de 2000 m<sup>2</sup> no telhado.



**Tabela 3.1- Áreas disponíveis.**

Piso	Área bruta (m <sup>2</sup> )	Área útil (m <sup>2</sup> )
1	1912,20	1824,00
2	5221,90	4906,33
3	1084,71	976,91
4	841,10	552,20
5	798,59	649,77

Área bruta - Superfície edificada nos diferentes pisos.

Área útil - Superfície utilizável por pessoa.

Em parte do mês de agosto e setembro o COPC é encerrado para férias e para manutenção. O horário de funcionamento varia ao longo da semana, de segunda a sexta: 06h45 – 23h15, sábados: 08h00 – 19h00 e aos domingos e feriados: 08h00 – 13h15.

### 3.2. Evolução anual dos consumos e custos de energia no COPC

Com intuito de se conhecer melhor a variação do número de entradas, na Figura 3.1 é demonstrado o seu histórico. Verifica-se que só há disponibilidade de dados sobre o número de entradas desde 2010. A sua evolução é muito grande entre 2010-2011 e mais ligeira entre 2011-2013, no entanto observa-se um crescimento contínuo.

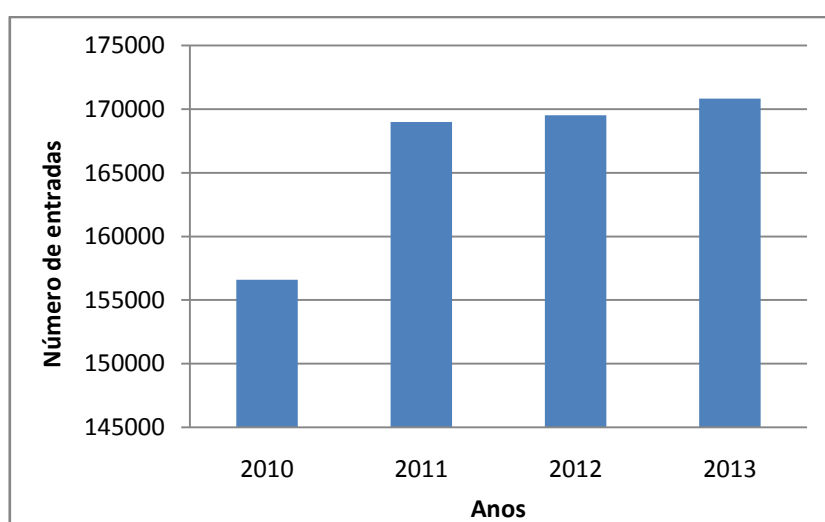


Figura 3.1- Variação do número de entradas entre 2010 e 2013.

Tendo por base os registos dos operadores do COPC, durante o próximo subcapítulo são apresentados os valores dos consumos e custos anuais, relativamente à energia e à água.

A variação dos consumos nos últimos anos da água total e da piscina de 50 metros, está representada na Figura 3.2. Já a evolução do consumo do gás natural encontra-se na Figura 3.3.

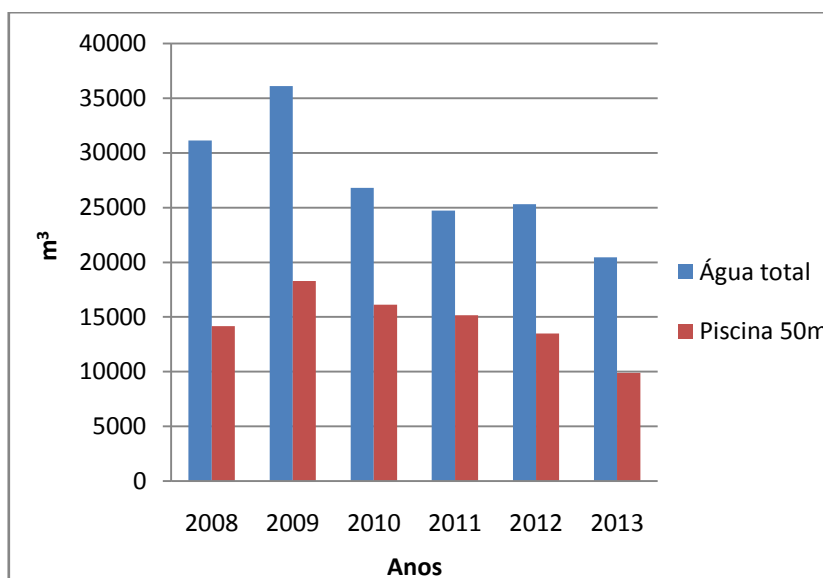


Figura 3.2- Consumo anual de água entre 2008 e 2013.

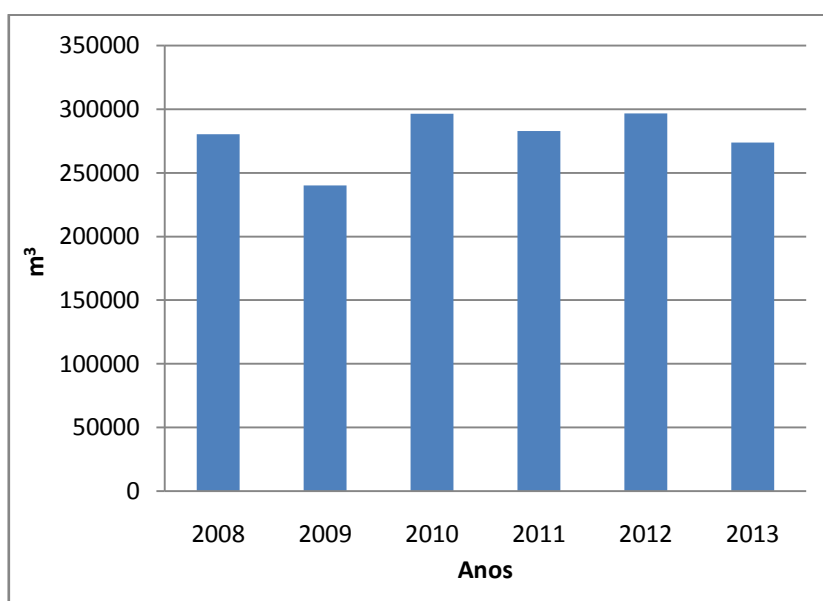
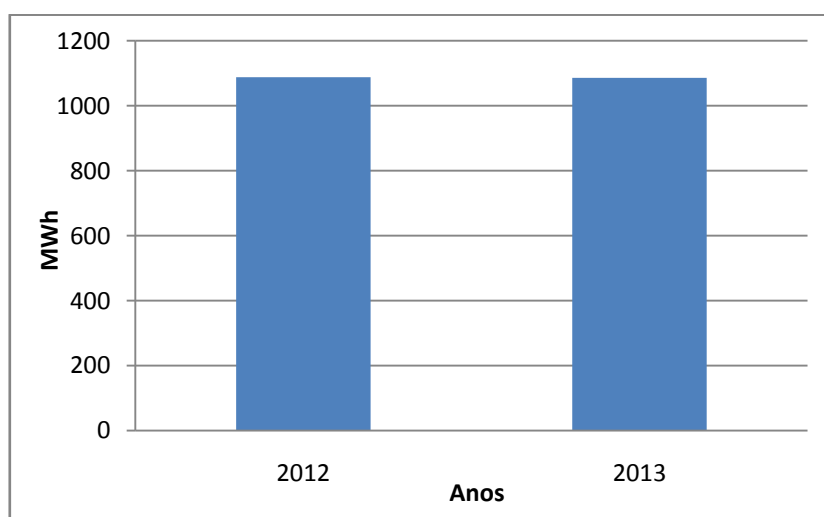


Figura 3.3- Consumo anual de gás natural entre 2008 e 2013.

O consumo de água ao longo do tempo tem vindo a decrescer. Isto acontece devido a um maior cuidado na utilização deste recurso e implementação de medidas para evitar perdas, como cuidados adicionais na limpeza de filtros.

As variações registadas no consumo de gás natural acontecem principalmente devido às diferentes necessidades térmicas que se registam em cada ano. Sendo que o gás natural se apresenta como fonte para produção de calor, quer para a água da piscina, quer para a climatização do ar ambiente, nos anos mais frios houve maior necessidade de aquecimento e naturalmente maior utilização de gás natural.

Em relação ao consumo de eletricidade apenas foram facultados dados relativos aos dois últimos anos. Embora o contador de eletricidade seja o mesmo para o COPC e para o Pavilhão Mário Mexia, os responsáveis referiram que o consumo estimado do COPC é de cerca de 80% do total. Assim foi elaborada a Figura 3.4, onde se regista uma ligeira diminuição no consumo de eletricidade de 2012 para 2013.



**Figura 3.4- Consumo anual de eletricidade em 2012 e 2013.**

Numa breve análise aos consumos, apresentados na Figura 3.5, percebe-se que há maiores necessidades de gás natural por ano do que de eletricidade. Isto acontece tendo em conta as grandes necessidades de aquecimento.

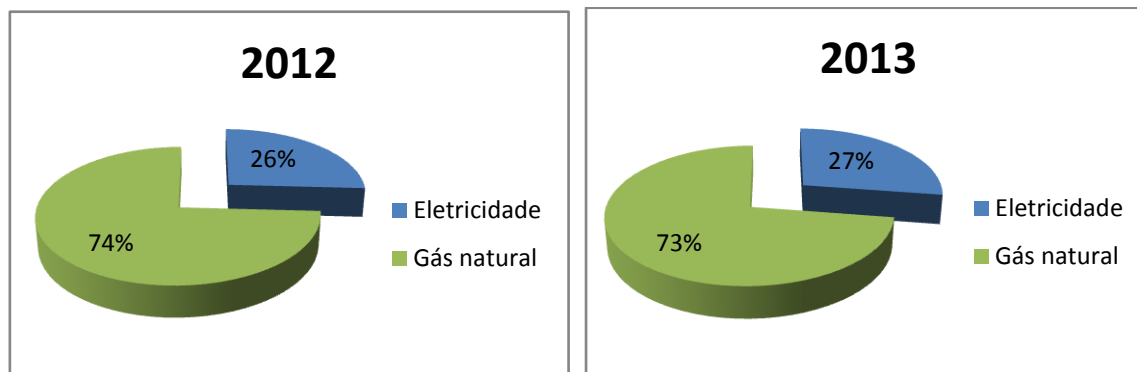


Figura 3.5- Comparação dos consumos de energia final com base em faturas entre 2012 e 2013.

Apesar das necessidades energéticas serem correspondidas em cerca de  $\frac{3}{4}$  pelo gás natural, quando se passa à comparação de custos num ano, tanto os custos associados à eletricidade como ao gás natural ficam bastante próximos, conforme se verifica na Figura 3.6.

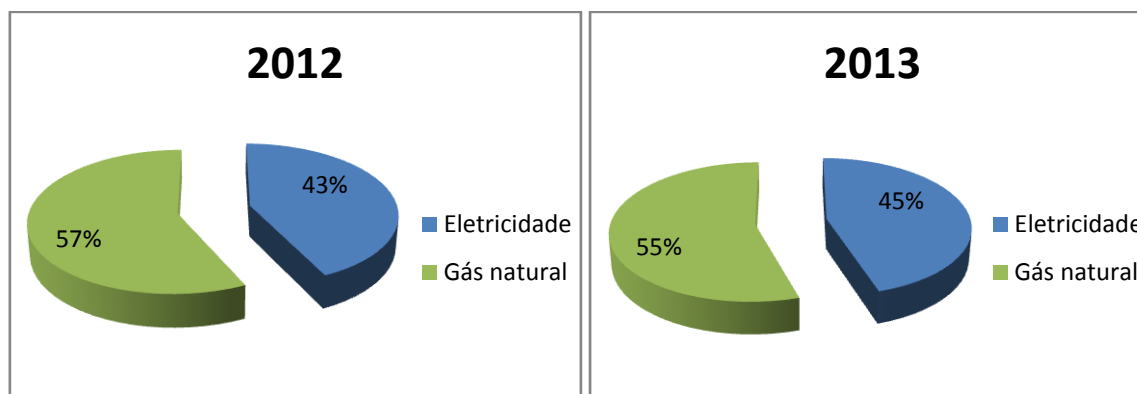
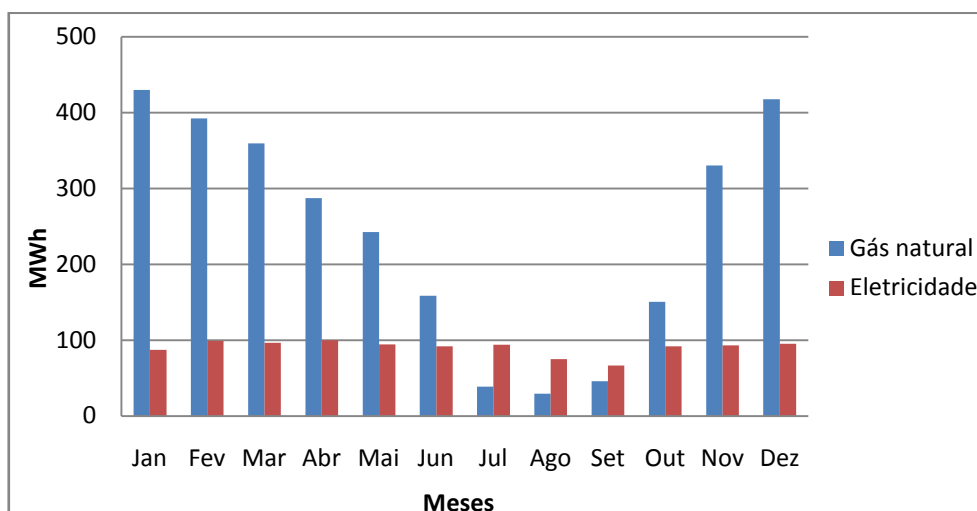


Figura 3.6- Comparação de custos de energia final com base em faturas entre 2012 e 2013.

### 3.2.1. Consumos e custos no ano 2013

Segue-se uma apresentação dos consumos e custos relativos ao ano 2013, escolhido como ano de referência devido a ser o mais recente e com a informação completa.

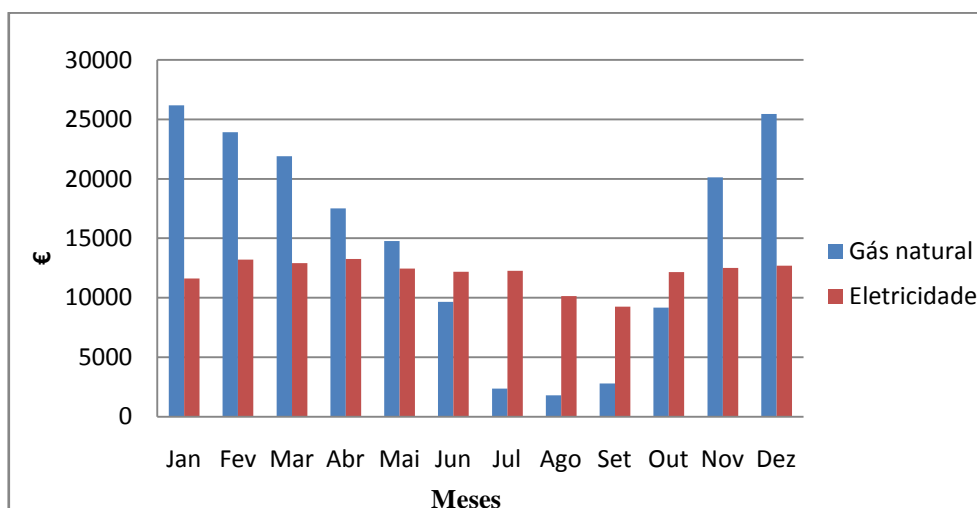
Na Figura 3.7 é realizada uma comparação mensal entre o gás natural e a eletricidade.



**Figura 3.7- Evolução do consumo mensal de energia durante o ano de 2013.**

A nível mensal, no ano de 2013, o consumo de eletricidade mantém-se praticamente constante, ou seja, as necessidades elétricas são muito semelhantes no decorrer do ano. Em relação ao gás natural a sua variação já depende das necessidades térmicas do COPC e, por isso, nos meses mais frios há maior necessidade de usar gás natural ao contrário do que acontece nos meses mais quentes.

Para uma análise aos custos do gás natural e da eletricidade no decorrer do ano de 2013, foi elaborada a Figura 3.8.



**Figura 3.8- Evolução do custo mensal de energia em 2013.**

A eletricidade apresenta um valor médio de 12000 € mensais. Já o gás natural apresenta um máximo de 26000 € no mês de janeiro e um mínimo de 1800 € em agosto.

A variação do consumo de água ao longo de 2013, tem a disposição apresentada na Figura 3.9.

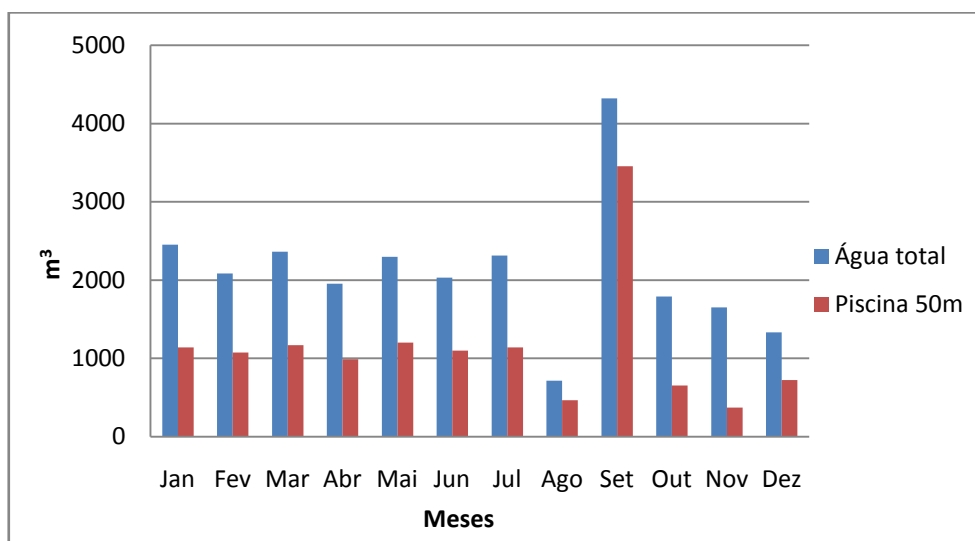


Figura 3.9- Evolução do consumo de água em 2013.

O consumo de água apresenta poucas variações se forem excluídos os meses de agosto e setembro. No mês de agosto a diminuição no consumo de água é justificada pelo facto de haver um período de férias. No mês de setembro há a substituição total da água das piscinas, sendo portanto natural aparecer aquele pico no mês referido.

### 3.3. Caracterização e consumos em 2013 no Dolce Vita de Coimbra

Nesta secção faz-se uma breve apresentação das características e uma análise às necessidades energéticas do Dolce Vita de Coimbra (DVC), para melhor compreensão dos consumos energéticos deste edifício.

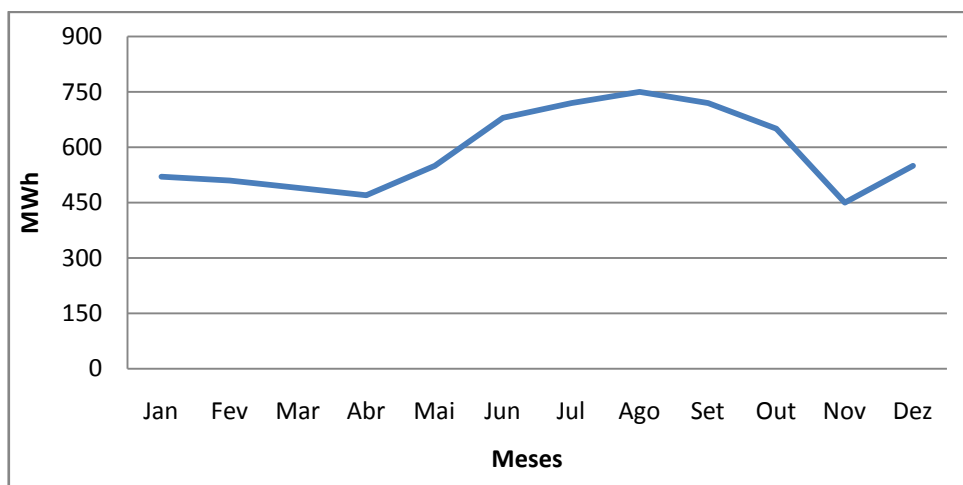
O DVC é um centro comercial que se localiza em Coimbra na freguesia de Santo António dos Olivais. Inaugurado em Abril de 2005, conta com uma área bruta locável de 42000 m<sup>2</sup>, onde se encontram 117 lojas, incluindo 10 salas de cinema e um hipermercado. Contém ainda capacidade para 1974 lugares de estacionamento subterrâneo.

Este equipamento apresenta elevadas necessidades energéticas, só no ano de 2013 apresentou um consumo de eletricidade a rondar os 7.000 MWh. Apesar de todos os esforços feitos pelos gestores do DVC, a energia continua a ser um dos maiores encargos

financeiros, sendo assim importante reduzir o consumo. O único tipo de energia que é utilizada no DVC é a elétrica, pois em termos gás natural atualmente o consumo é praticamente nulo. Este centro comercial não apresenta necessidades de aquecimento, com isto a eletricidade usada será apenas na produção de frio, na iluminação e nos equipamentos.

Para produzir frio existem três chillers de compressão de vapor. Dois deles funcionam em permanência, enquanto que o terceiro só quando há necessidades extremas. Existe ainda um banco de gelo, que tem como objetivo armazenar energia térmica durante a noite (quando a eletricidade é mais barata), para depois distribuir durante o dia quando é mais necessária, assim há uma maior nivelção do consumo de eletricidade durante as 24 horas e poupanças consideráveis.

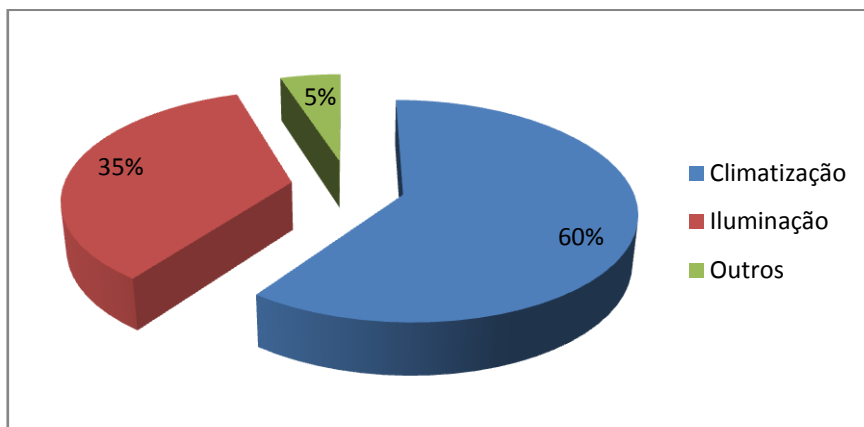
Na Figura 3.10 está presente a variação no consumo de energia elétrica no DVC em 2013. Os dados apresentados não são precisos sendo apenas médias, tendo sido a única maneira possível de recolher a informação.



**Figura 3.10- Variação do consumo de energia elétrica em 2013.**

Os consumos mais elevados de energia elétrica em 2013, aparecem nos meses mais quentes pois é quando há maior necessidade de se produzir frio.

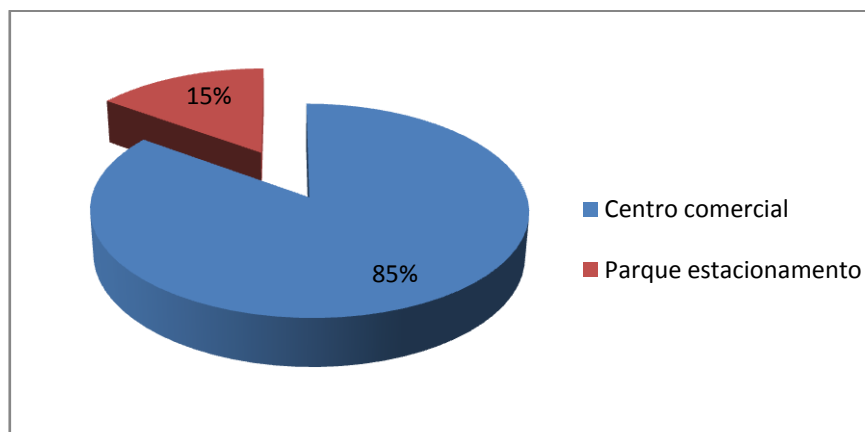
A repartição do consumo de eletricidade encontra-se ilustrada na Figura 3.11.



**Figura 3.11- Distribuição do consumo de energia elétrica em 2013.**

Os dois grupos que mais energia elétrica consomem são a climatização e a iluminação, pois só uma pequena parte do consumo vai para a movimentação dos elevadores, escadas rolantes, entre outros.

Em relação à iluminação na Figura 3.12 está representada a sua distribuição. Ao ser considerado apenas os gastos em iluminação é verificável que a maior parte da iluminação acontece no centro comercial, corredores e casas de banho, enquanto no parque de estacionamento o consumo é menor.



**Figura 3.12- Distribuição do consumo de energia elétrica na iluminação em 2013.**



## 4. ESTUDO DO APROVEITAMENTO SOLAR PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE E ELETRICIDADE NO COPC

Para a realização das simulações, produção de água quente e eletricidade usou-se o *SolTerm 5.0*<sup>®</sup>, que permite uma análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, encontrando-se ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal.

A simulação de desempenho de um sistema no *SolTerm 5.0*<sup>®</sup> é realizada sob condições quasi-estacionárias. Sendo assim, os balanços energéticos são efetuados em intervalos curtos (5 minutos), considerando-se constante o estado do ambiente e do sistema.

A informação utilizada nestas simulações é bastante específica, havendo vários campos a ter em consideração:

- Configuração / dimensionamento do sistema;
- Estratégias de controlo e operação;
- Radiação horizontal e temperatura ambiente em base horária;
- Obstruções, sombreamentos, albedo das redondezas, turbidez da atmosfera;
- Características técnicas dos componentes (coletores, armazenamento, etc.);
- Consumo do sistema em base horária média mensal.

### 4.1. Área coletora

A área onde os painéis podem ser instalados chega aos 2000 m<sup>2</sup>, no entanto não será necessário ocupar toda essa área para obter benefícios através da energia solar. Outro aspeto importante a ter em conta é o valor do investimento financeiro. Tratando-se de um estabelecimento público esse fator torna-se ainda mais pesado.

A orientação dos coletores deverá ser para sul para maximizar o seu aproveitamento.

Em termos de possíveis obstruções não existe nenhuma de momento, por isso o sol num dia agradável seria aproveitado desde que nasce até se pôr. Assim, as condições

são adequadas para uma exploração com sucesso deste tipo de tecnologia, o único entrave que existirá é o investimento inicial a considerar.



Figura 4.1- Área disponível para instalação dos painéis solares.

## 4.2. Produção de água quente

O COPC apresenta necessidades de água quente elevadas, daí que utilização de coletores solares possa ser de grande importância. Na tabela 4.1 pode-se verificar o consumo mensal de água quente na piscina de 50 metros e o total.

Tabela 4.1- Consumo mensal de água quente.

Mês	2013	
	Consumo água total [m <sup>3</sup> ]	Consumo água P50 [m <sup>3</sup> ]
Janeiro	1467	511
Fevereiro	1531	615
Março	1248	545
Abril	1841	690
Mai	1788	653
Junho	1681	768
Julho	1117	519
Agosto	610	451
Setembro	4091	3217
Outubro	1811	637
Novembro	1869	685
Dezembro	1401	587

P50 - piscina de 50x25 metros

O consumo de água por parte da piscina de 50 metros, só é realizado no final do dia de funcionamento, com isto os horários considerados foram: das 20 às 23 horas durante a semana e ao fim-de-semana das 17 às 20 horas.

Para se calcular o caudal médio horário, da piscina de 50 metros, as percentagens de consumo admitidas foram de 4,4% para primeira hora de consumo, 59% para a segunda e 36,6% na terceira.

**Tabela 4.2- Consumo horário em percentagem da piscina de 50 metros.**

Horas	Consumo dias de semana (%)	Consumo fim-de-semana (%)
17 - 18	-	4,4
18 - 19	-	59
19 - 20	-	36,6
20 - 21	4,4	-
21 - 22	59	-
22 - 23	36,6	-

Esta análise vai ser realizada tendo em conta os dados de 2013, pois serão os dados que mais se aproximarão da realidade nos próximos anos. Para além disto só houve possibilidade de se fazer a simulação para a piscina de 50 metros pois são os únicos dados a que houve acesso por parte do consumo de água, faltando as AQS e da piscina de 25 metros.

O depósito adotado para a simulação, foi de 2 metros de altura e com 2000 litros de capacidade, sendo em aço inox, devido às características químicas da água da piscina. Houve dois cenários considerados, sistema a funcionar com dois depósitos (2x2000 litros) ou com três depósitos (3x2000 litros).

O permutador escolhido foi de serpentina com uma eficiência na casa dos 55%.

Foram ainda admitidos os seguintes parâmetros:

- Tempo de vida do coletor 20 anos;
- Componente fixa: 10000€ por cada depósito;
- Componente variável: 450€/m<sup>2</sup>;
- Valor da renovação: 5% do preço do sistema;
- Renovação de componentes ao décimo primeiro ano;
- Manutenção anual: 1% do preço do sistema;

- Valor residual em fim de vida: 5% do preço do sistema;
- Gás natural:
  - Poder calorífico inferior: 10,53 kWh/m<sup>3</sup>;
  - Rendimento de transformação: 75%;
  - Preço 0,500€/m<sup>3</sup> (0,063€/kWh) - valor com base nas faturas de 2013;
- Taxa de inflação média: 2,5% ao ano;
- Deriva média do preço de energia: 2,0% ao ano (acima da inflação);
- Fator de caracterização: 0,24 t CO<sub>2</sub>eq/MWh.

#### 4.2.1. Características dos coletores solares térmicos

A Tabela 4.3 mostra, para diferentes tipos de coletores solares, a área, rendimento ótico ( $\eta_0$ ), o coeficiente global de perdas ( $a_1$ ) e o coeficiente secundária de perdas ( $a_2$ ). De salientar ainda que a configuração dos coletores em questão é plana. Os coletores foram escolhidos de forma a tentar variar ao máximo as suas características, para uma análise mais diversificada.

**Tabela 4.3- Caracterização dos coletores solares.**

Coletor	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta_0$ (%)	$a_1$ (W/m <sup>2</sup> /K)	$a_2$ (W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup> )
Solahart M	1,86	75,8	2,8	0,023
Yazaki SP-X1020-3HO	1,9	82,2	6,2	0,004
Megasun ST2500	2,3	74	3,9	0,013
Solargus cs1cv	1,62	69,2	7,4	0,014
Immosolar-Is Pro 1H	0,8	75,8	5,9	0,011
Maltezos csw 130x150	1,75	77,9	3,9	0,022

Na Tabela 4.4 são apresentadas as características otimizadas de cada tipo de coletor, para o caso de estudo aplicado à piscina de 50 metros, como a orientação e a área coletora. O sistema auxiliar considerado foi o gás natural e o depósito foi posto a variar, na simulação 1 com depósito de 2x2000 litros e na simulação 2 com 3x2000 litros, para se verificar quais seriam as implicações dessa alteração.

**Tabela 4.4-Variação das principais características dos coletores solares em cada simulação.**

Simulação	Coletor	Depósito (l)	Área coletora (m <sup>2</sup> )	Sistema auxiliar	Inclinação
1	Solahart M	2x2000	80	Gás natural	35°
2	Solahart M	3x2000	109,7	Gás natural	35°
1	Yazaki SP-X1020-3HO	2x2000	96,9	Gás natural	35°
2	YazakiSP-X1020-3HO	3x2000	136,8	Gás natural	35°
1	Megasun ST 2500	2x2000	92	Gás natural	35°
2	Megasun ST 2500	3x2000	124,2	Gás natural	35°
1	Solargus cs1cv	2x2000	111,4	Gás natural	35°
2	Solargus cs1cv	3x2000	208,3	Gás natural	35°
1	Immosolar-Is Pro1H	2x2000	109,6	Gás natural	35°
2	Immosolar-Is Pro1H	3x2000	152,8	Gás natural	35°
1	Maltezoscsw 130x150	2x2000	85,8	Gás natural	35°
2	Maltezoscsw 130x151	3x2000	117,3	Gás natural	35°

No concelho de Coimbra, segundo o *Solterm 5.0*<sup>®</sup>, a inclinação média para o ano inteiro mais indicada é 35° com orientação para sul. A área coletora varia com o depósito escolhido, sendo que quanto maior for a capacidade deste, maior a área poderá ser.

A otimização da área coletora foi feita de maneira a que não houvesse desperdícios de energia solar em nenhum mês, ou seja, com o aumento de coletores nas situações acima, principalmente nos meses mais quentes, haveria água que seria aquecida mas não caberia nos depósitos.

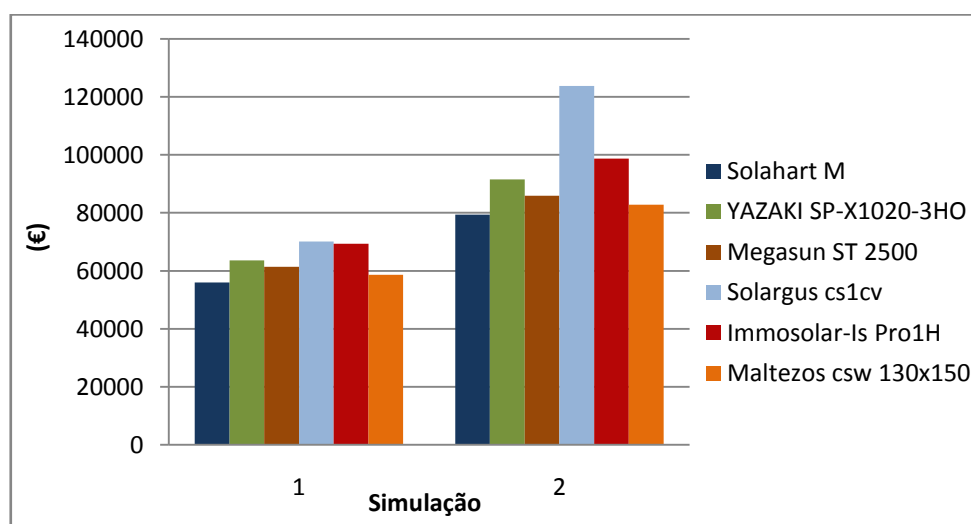
#### **4.2.2. Resultados na produção de água quente para a piscina de 50 metros**

Após a simulação das várias hipóteses consideradas, obteve-se na Tabela 4.5, os resultados de maior relevância em cada situação. De destacar os custos totais (onde se encontra incluído o investimento, manutenção e reparações), as poupanças energéticas em cada ano e também o período de retorno do investimento.

**Tabela 4.5- Principais resultados energéticos e económicos em cada coletor solar.**

Simulação	Coletor	Depósito (l)	Custos totais (€)	Poupanças energéticas (kWh/ano)	Payback (anos)
1	Solahart M	2x2000	74324	80637	9,95
2	Solahart M	3x2000	105376	111544	10,37
1	Yazaki SP-X1020-3HO	2x2000	84432	82087	11,53
2	Yazaki SP-X1020-3HO	3x2000	121540	116461	11,67
1	Megasun ST 2500	2x2000	81505	82141	11,17
2	Megasun ST 2500	3x2000	114014	112756	11,36
1	Solargus cs1cv	2x2000	93114	70137	14,35
2	Solargus cs1cv	3x2000	164272	117341	15,02
1	Immosolar-Is Pro1H	2x2000	92018	82958	12,31
2	Immosolar-Is Pro1H	3x2000	131098	116863	12,63
1	Maltezos csw 130x150	2x2000	77772	81780	10,50
2	Maltezos csw 130x150	3x2000	109863	113150	10,92

Para uma análise económica mais detalhada é apresentado na Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4 o desempenho de energia térmica, estando presente o tipo de coletor considerado e a simulação em causa, as diferentes figuras estão divididas em investimento, proveito final e a rentabilidade anual.

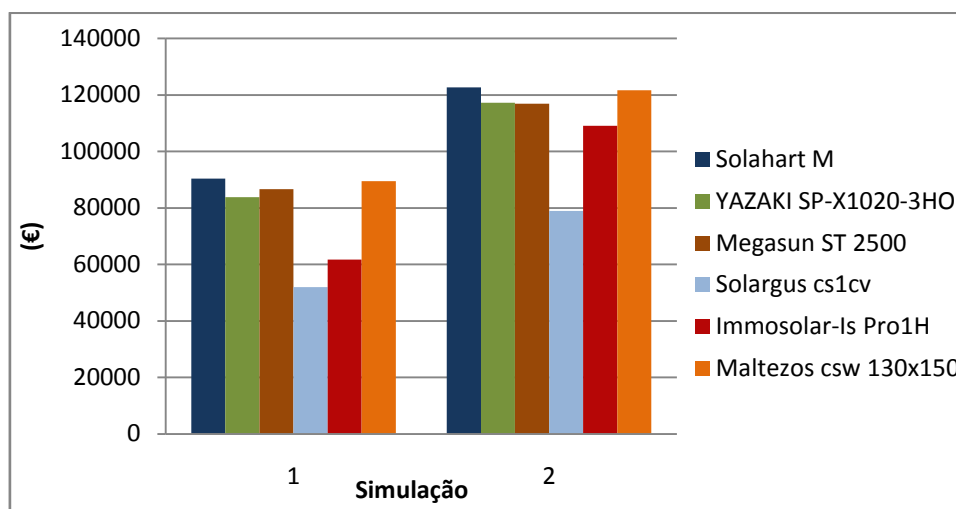


Simulação 1 - Depósitos 2x2000 litros

Simulação 2 - Depósitos 3x2000 litros

**Figura 4.2- Investimento necessário em cada tipo de coletor solar.**

Os investimentos acabam por ser algo significativos para um estabelecimento público variando entre os 56000€ (Solarhart M na simulação1) e os 124000€ (Solargus cs1cv na simulação 2).

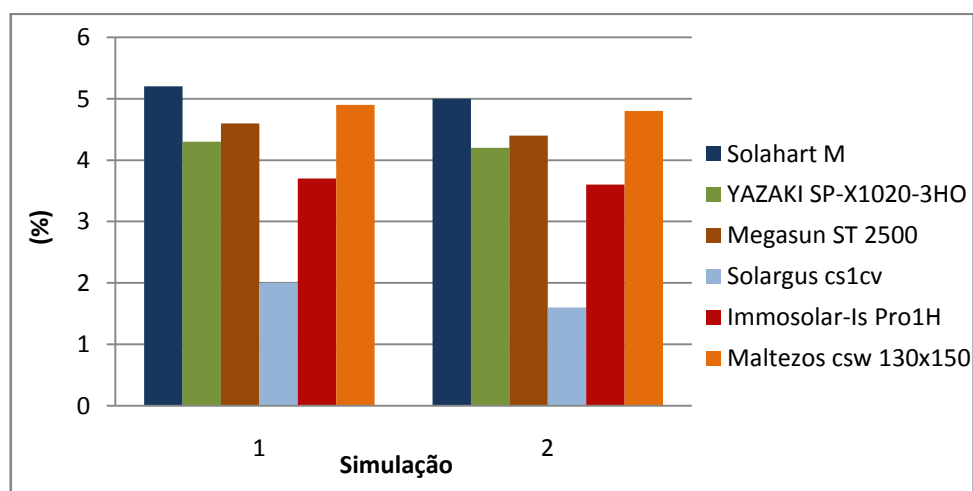


Simulação 1 - Depósitos 2x2000 litros

Simulação 2 - Depósitos 3x2000 litros

**Figura 4.3- Proveito final em cada tipo de coletor solar.**

Em relação ao proveito final é possível concluir que o coletor Solahart M e o Maltezos csw 130x150, na simulação 2, são os que no final dos 20 anos de vida apresentam maior benefício económico.



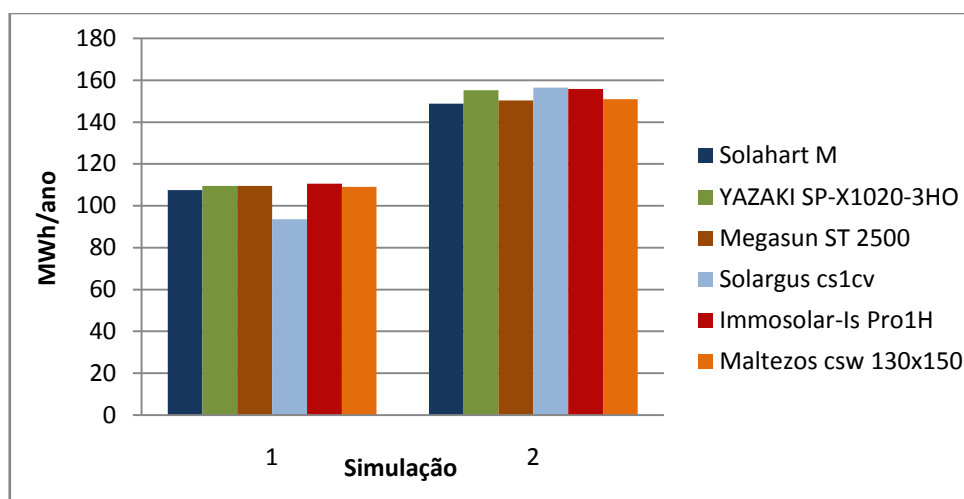
Simulação 1 - Depósitos 2x2000 litros

Simulação 2 - Depósitos 3x2000 litros

**Figura 4.4- Rentabilidade anual em cada tipo de coletor solar.**

Para a rentabilidade média anual, valor fornecido diretamente pelo *SolTerm 5.0<sup>®</sup>*, a simulação número 1 apresenta-se ligeiramente melhor do que a número 2. O coletor Solahart M, Maltezos csw 130x150 e o Megasun ST 2500 apresentam em ambas as simulações melhor rentabilidade do que os outros. Posto isto, estas três hipóteses são bastante similares tanto em termos de investimento, proveito final e rentabilidade, assim qualquer uma delas em termos económicos é bastante positiva.

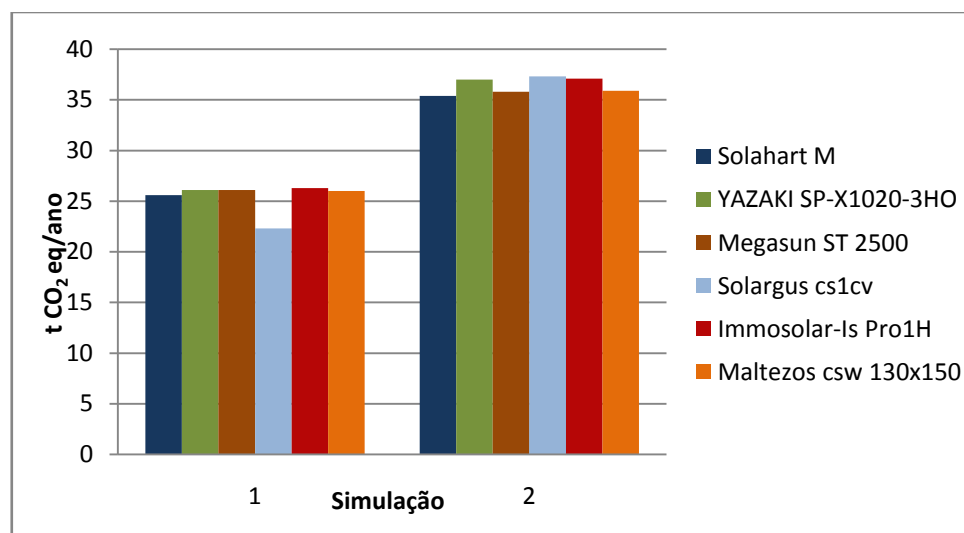
A nível ambiental é apresentado, na Figura 4.5 e Figura 4.6, o consumo energético e as emissões evitadas, pela consequência do uso dos coletores solares. Estes dois gráficos estão relacionados, pois quanto mais energia os coletores produzirem (consumo energético evitado), menos emissões gasosas irão ser produzidas para igual valor de consumo de energia.



Simulação 1 - Depósitos 2x2000 litros

Simulação 2 - Depósitos 3x2000 litros

**Figura 4.5- Consumo evitado para cada tipo de coletor solar.**



Simulação 1 - Depósitos 2x2000 litros

Simulação 2 - Depósitos 3x2000 litros

**Figura 4.6- Emissões evitadas para cada tipo de coletor solar.**

Em termos ambientais a segunda simulação é aquela em que as poupanças são maiores. Aqui todos os coletores apresentam desempenhos relativamente semelhantes, havendo apenas diferenças residuais.



### 4.3. Produção fotovoltaica

Outra possibilidade que o *Solterm 5.0*<sup>®</sup> oferece é a análise fotovoltaica, tendo em conta que o COPC tem grandes consumos de eletricidade é necessário explorar alternativas que de algum modo atenuem estas necessidades.

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores do consumo mensal de eletricidade e o total anual.

**Tabela 4.6- Consumo eletricidade no COPC em 2013.**

Consumo 2013	
Mês	Eletricidade (MWh)
Janeiro	87,18
Fevereiro	99,07
Março	96,71
Abril	99,86
Maio	94,60
Junho	92,04
Julho	93,99
Agosto	75,01
Setembro	66,71
Outubro	92,11
Novembro	93,32
Dezembro	95,53
Total	1086,13

É também importante reter que a variação do consumo ao longo do dia (24 horas) é praticamente constante, isto acontece porque os equipamentos trabalham todo o dia com mais ou menos potência, havendo ligeiras variações.

Aqui não será considerado armazenamento pois é um ramo ainda em desenvolvimento e a sua relação proveito/custo não é a melhor. Com isto é tido em conta que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos será utilizada no momento.

Outros pressupostos são:

- Tempo de vida do painel 20 anos;
- Componente variável: 225€/m<sup>2</sup> para o painel;
- Componente varável: 50€/m<sup>2</sup> para o suporte;
- Valor da renovação: 5% do preço do sistema;

- Renovação de componentes ao décimo primeiro ano;
- Manutenção anual: 1% do preço do sistema;
- Valor residual em fim de vida: 5% do preço do sistema;
- Taxa de inflação média: 2,5% ao ano;
- Deriva média do preço de energia: 2,0% ao ano (acima da inflação);
- Na rede elétrica 39% da eletricidade é de origem renovável;
- Fator de caracterização: 0,45 t CO<sub>2</sub> eq/MWh;
- Rendimento médio nas centrais termoelétricas é de 40%;
- Configuração dos módulos em série;
- Componente fixa: 2400 € inversor 15 kW;
- Componente fixa: 2000 € inversor 10 kW;
- Valor da eletricidade média entre o período de cheia e ponta: 0,16(€/kWh).

#### 4.3.1. Características dos painéis fotovoltaicos

Foram escolhidos três tipos de painéis na produção fotovoltaica, de entre os quais, irá ser avaliado aquele que tem as melhores características para este caso.

Na Tabela 4.7 constam as características principais de cada um.

**Tabela 4.7- Características dos painéis fotovoltaicos.**

Painel	Siemens M75S	BP 3160	Kyocera KC167G-2
Área (m <sup>2</sup> )	1.4	1,26	1,28
Tecnologia	SI monocristalino	SI amorfo	SI policristalino
Tensão em circuito aberto (V)	22	44,2	28,9
Corrente em curto-circuito (A)	4,8	4,8	8
Tensão nominal (V)	12	24	12
Tensão @ potência máxima (V)	17	35,1	23,2
Corrente @ potência máxima (A)	4,4	4,53	7,2
NOCT (°C)	45	47	47
Número de células em série	36	72	48
Potência nominal (Wp)	75	159	167

De modo a definir os parâmetros de operação o método escolhido foi a energia elétrica anual que os painéis fotovoltaicos iriam produzir, em substituição da energia convencional consumida no COPC. No primeiro caso a opção escolhida foi produzir 2,5% das necessidades de energia elétrica anuais do COPC, cerca de 27153 kWh em 2013, através dos diferentes painéis. Para o segundo caso optou-se por 5% das necessidades de energia elétrica anual, cerca de 54307 kWh em 2013.

Na Tabela 4.8 é possível verificar a variação da área e da potência instalada com o aumento da produção de energia elétrica.

**Tabela 4.8- Variação das principais características em cada simulação.**

Simulação	Painel	Produção eletricidade (%)	Potência instalada (kWp)	Área (m <sup>2</sup> )
1	Siemens M75S	2,5	20.6	386,4
2	Siemens M75S	5	41.3	772,8
1	BP 3160	2,5	20	158,6
2	BP 3160	5	39	308,3
1	Kyocera Kc167G-2	2,5	24.1	183,9
2	Kyocera Kc167G-2	5	48.11	367,8

Numa breve análise é possível verificar que a área e a potência nominal para a simulação 2, correspondente a 5% do consumo de energia elétrica é maior do que para os 2,5%, como seria de esperar. Para a simulação 2 é também espectável um maior benefício económico e ambiental, mas também um maior investimento. De referir ainda que foram considerados dois tipos de inversores, com 15 kW e 10 kW de potência. Consoante a potência instalada dos painéis em cada simulação utilizou-se a melhor combinação destes inversores de modo a satisfazer as necessidades.

No próximo subcapítulo será comprovado qual a melhor hipótese e qual o melhor tipo de painel com possibilidade de implementação no COPC.

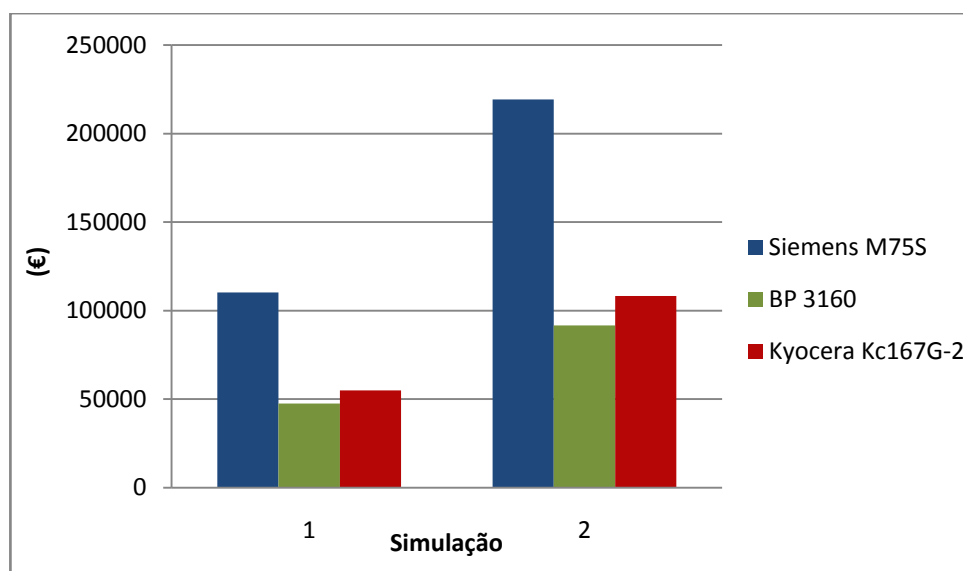
#### **4.3.2. Resultados da produção de eletricidade**

Depois de realizadas as simulações através do *Solterm 5.0*<sup>®</sup>, chegou-se à Tabela 4.9, onde se pode encontrar dados de grande relevância como a área ocupada pelos painéis, os custos totais (investimento, reparações e manutenção), poupanças energéticas por ano e o período de retorno do investimento.

**Tabela 4.9- Principais resultados energéticos e económicos em cada painel fotovoltaico.**

Simulação	Painel	Área (m <sup>2</sup> )	Custos totais (€)	Poupanças energéticas (kWh/ano)	Payback (anos)
1	Siemens M75S	386,4	135168,97	27168	19,77
2	Siemens M75S	772,8	268866,85	54336	19,70
1	BP 3160	158,6	58371,76	28074	9,59
2	BP 3160	308,3	112272,01	54588	9,50
1	Kyocera Kc167G-2	183,9	67391,40	27315	11,18
2	Kyocera Kc167G-2	367,8	132821,35	54631	11,00

Para uma análise económica mais detalhada foram elaboradas a Figura 4.7 e Figura 4.8 que representam os custos de investimento e o proveito final, respetivamente.

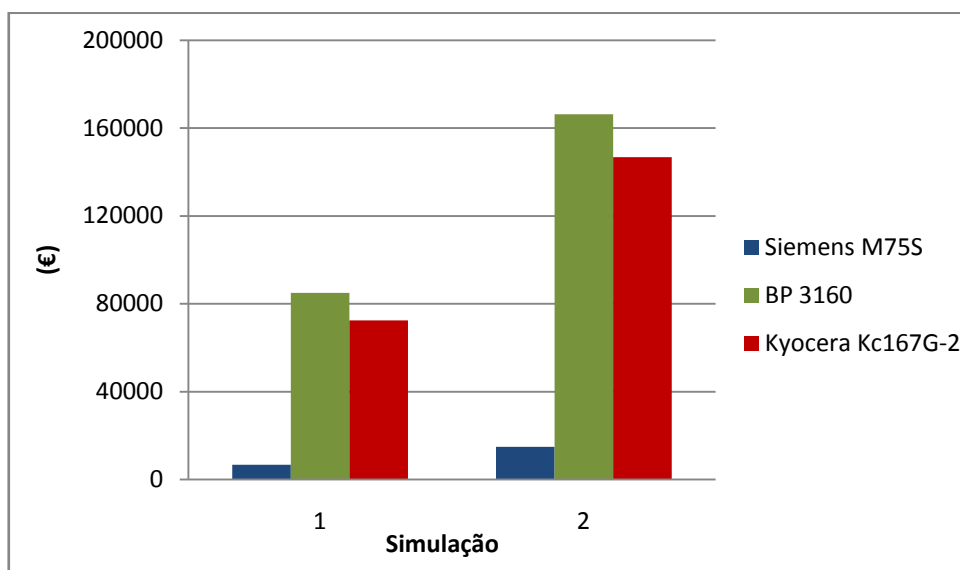


Simulação 1 - Produção de 2,5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

Simulação 2 - Produção de 5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

**Figura 4.7-Investimento necessário em cada tipo de painel fotovoltaico.**

O painel Siemens M75S apresenta nas duas hipóteses um grande investimento, isto porque necessita de um maior número de painéis do que as outras situações para obter a mesma produção de eletricidade, isto poderá ser justificado pelo seu rendimento mais baixo comparativamente com os outros painéis (consultar Anexo C).



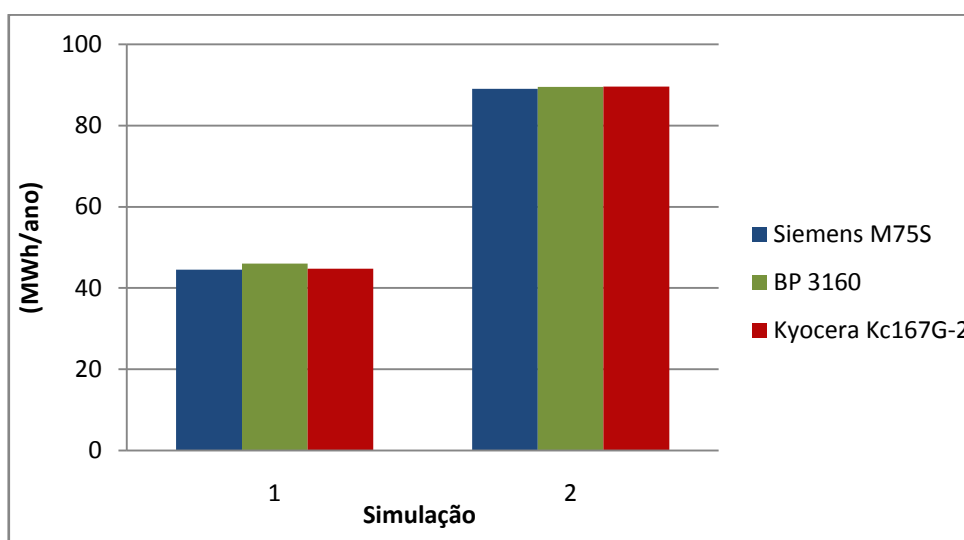
Simulação 1 - Produção de 2,5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

Simulação 2 - Produção de 5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

**Figura 4.8- Proveito final em cada tipo de painel fotovoltaico.**

No proveito final tanto o painel BP 3160 e o Kyocera Kc167G-2 apresentam valores muito razoáveis. Em contra partida o Siemens M75S, não é uma boa escolha neste caso, apesar de no final dos 20 anos apresentar algum lucro.

Na análise ambiental, foram verificadas duas situações. Primeiro o consumo de energia produzida de forma convencional evitada e posteriormente as emissões associadas a essa produção evitadas em dióxido carbono equivalente, como fica demonstrado Figura 4.9 e Figura 4.10.



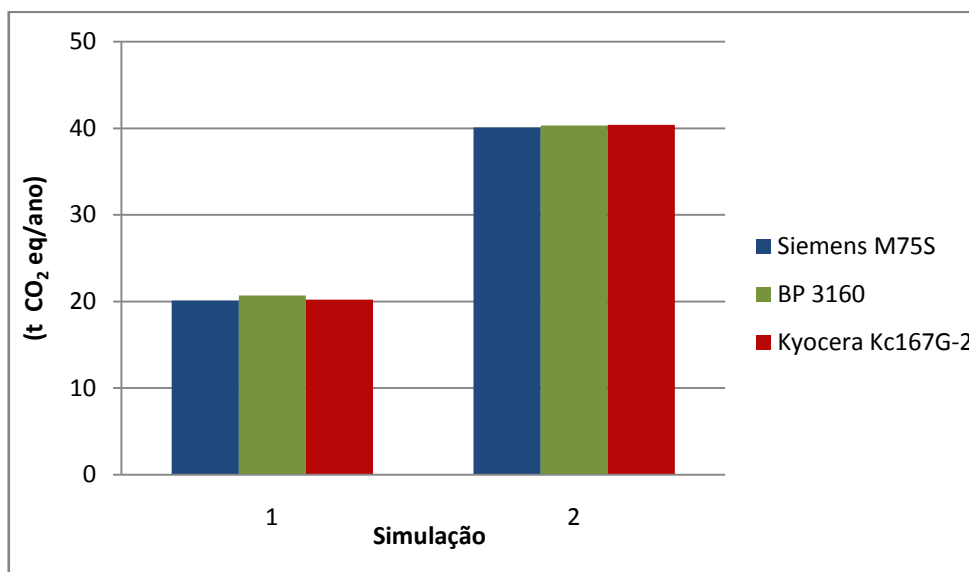
Simulação 1 - Produção de 2,5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

Simulação 2 - Produção de 5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

**Figura 4.9- Consumo evitado para cada tipo de painel fotovoltaico.**

Como era expectável ao ser produzido 5% da energia elétrica, por fonte fotovoltaico, o consumo evitado é maior, em sensivelmente o dobro para todos os painéis. Já as diferenças entre os painéis, dentro de cada hipótese, são praticamente residuais pois todos irão produzir a mesma energia, logo o consumo evitado é idêntico.

Na Figura 4.10 estão presentes as emissões evitadas em cada hipótese e em cada painel.



Simulação 1 - Produção de 2,5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

Simulação 2 - Produção de 5% das necessidades de eletricidade do COPC por ano.

**Figura 4.10- Emissões evitadas em cada tipo de painel fotovoltaico.**

O mesmo acontece ao analisar as emissões evitadas, pois os dois gráficos estão intimamente relacionados.

## 5. CONCLUSÕES

A gestão de energia deverá ser vista pelas empresas como uma questão de elevada importância, quer no ponto de vista económico, quer no ponto de vista ambiental.

O objetivo deste trabalho consistia em encontrar alternativas válidas para produção de energia no COPC. Inicialmente as tecnologias que faziam parte desta investigação era, um modelo trigeração, coletores solares e painéis fotovoltaicos.

A ideia de trigeração, que engloba DVC e o COPC, ficou-se apenas pela recolha de informação do DVC, para que no futuro outros trabalhos possam prosseguir este estudo. Em relação aos painéis solares foi feita uma modelação para o uso de coletores solares (produção de energia térmica) e painéis fotovoltaicos (produção energia elétrica).

O COPC apresenta necessidades elevadas de água quente e eletricidade, estando grande parte dos custos relacionados com o consumo de energia. Perante estes consumos a ideia de implementação de coletores solares e painéis fotovoltaicos torna-se ainda mais interessante, como medida que ajude a atenuar os custos. No caso do sistema solar térmico, considerou-se dois cenários: o primeiro com dois depósitos de dois mil litros cada (2x2000 l) e o segundo com três depósitos com 2 mil cada (3x2000 l). Depois disto escolheu-se vários tipos de coletores solares de modo a fazer variar ao máximo as suas características e realizou-se as simulações. Para o sistema fotovoltaico, os dois cenários considerados foram: no primeiro a produção de 2,5% das necessidades de energia elétrica anuais (27153 kWh) e no segundo a produção de 5% (54307 kWh), posteriormente foram escolhidos os tipos de painéis fotovoltaicos a usar e realizadas as simulações.

Nos cenários considerados, para a produção de água quente na piscina de 50 metros, consegue-se verificar que o coletor Solahart M apresenta-se como a melhor opção. É o que apresenta custos mais baixos e no final do tempo de vida considerado, apresenta maiores proveitos do que a concorrência. Entre a simulação 1 (depósito 2x2000 l) e a simulação 2 (depósito 3x2000 l) deste coletor solar, a escolha já é mais complicada, pois a simulação 1 tem custos menores no entanto um proveito final também menor do que a simulação 2.

No caso da produção de eletricidade, o painel BP 3160 tem os custos mais baixos, necessita de menor área para produzir a mesma energia elétrica que os outros, e no final consegue também um proveito maior do que os outros painéis. Em relação à

simulação mais indicada acontece o mesmo que na produção de água quente, a simulação 1 por produzir apenas 2,5% das necessidades elétricas do COPC, tem um custo menor, mas um proveito também menor do que quando comparado com a simulação 2 ao produzir 5% do consumo elétrico do COPC.

A produção de energia por parte de painéis solares demonstrou ser sem dúvida uma aposta válida para o COPC, permitindo lucros económicos razoáveis e ajuda a evitar emissões gasosas.

## **5.1. Trabalhos Futuros**

Depois de alguns resultados positivos na conclusão deste trabalho, é de esperar a continuação, mais aprofundada de alguns aspetos. Prosseguir na análise da ideia de trigeriação entre o COPC e o DVC, que poderá levar os dois edificios a beneficiar em muito com isso.

Seria também interessante estudar o desempenho dos coletores solares com concertação para o COPC.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhatia, A. (2004), “Overview of Vapor Absorption Cooling Systems”. Acedido a 27 de agosto de 2014, em: <https://www.cedengineering.com/upload/Vapor%20Absorption%20Machines.pdf>.
- Borges, D.B. (2008), “Avaliação do impacto do solar térmico para produção de AQS e apoio à Climatização no âmbito da nova Regulamentação”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. FEUP - Universidade do Porto, Porto.
- Brandão, S. (2004), “Cogeração”. Acedido a 18 de março de 2014, em: <http://ssbrandao.no.sapo.pt/Cogeracao.pdf>.
- BRESCU, (1998), Good practice case study 76, “Energy efficiency in sports and recreation buildings: swimming pool covers”. Acedido a 12 de março de 2014, em: <http://www.forgeleisure.co.uk/Case%20Study.pdf>.
- British Petrol, “BP Statistical Review of World Energy June 2013”. Acedido a 30 de abril de 2014, em: [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf).
- CEEETA, (2001), Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos, "Tecnologias de Aproveitamento de Calor". Acedido a 07 de maio de 2014, em: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energProdu/TecAproveitamentoCalor.pdf>.
- CEEETA, (2001), Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos, "Tecnologias de Micro-geração". Acedido a 07 de maio de 2014, em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/SolarFotovoltaico.pdf>.
- Células de combustível (2002), “Como funcionam?”. Acedido a 19 de março de 2014, em: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/>.
- Central elétrica (2011), “Como funciona uma central Fotovoltaica?”. Acedido a 16 de abril de 2014, em: <http://rd9centralelectrica.webnode.pt/>.
- Chow, T.T., Bai, Y., Fong, K.F., Lin, Z. (2012), “Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool water and space heating”, *Applied Energy*, 100, 309-317.
- Decreto-lei n.º 23/2010 de 25 de março. “Diário da república, 1.ª série — n.º 59”. Ministério da economia, da inovação e do desenvolvimento.
- Deng, J., Wang, R.Z., Han G.Y. (2011), “A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 172-203.
- DERN, (2014), “Tubos de Vácuo”. Acedido a 12 de abril de 2014, em: <http://www.dern.pt/index.php?pg=21>
- Desideri, U., Progetti, S., Cinti G., Sdringola P., Rossi., (2011), “Analysis of pollutant emissions from cogeneration and district heating systems aimed to a feasibility study of MCFC technology for carbon dioxide separation as retrofitting of existing plants”, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 1663-1773.
- DETREE, (2013), Good practice guide 219, “Energy efficiency in swimming pools - for centre managers and operators”. Acedido a 5 de março de 2014, em: [http://www.swimming.org/assets/uploads/library/Energy\\_Efficiency\\_in\\_Swimming](http://www.swimming.org/assets/uploads/library/Energy_Efficiency_in_Swimming)

- \_Po ols\_219.pdf.
- DGEG, “Caracterização Energética Nacional 2012”. Acedido a 26 de abril de 2014, em: <http://www.dgeg.pt/>.
- Duarte, P.N.A. (2012), “Colectores Solares Térmicos: Análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no Mercado”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. FEUP - Universidade do Porto, Porto.
- Duarte, T.A.F., (2010), “A microgeração e o Poder Local”. Faculdade de Economia – Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Capstone (2014), "Products & solutions". Acedido a 20 de setembro de 2014, em: <http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/>.
- Eficiência Energética (2012), "Eficiência Energética em edifícios no sector dos serviços". Acedido a 7 de setembro de 2014, em: [http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID\\_conteudo=91&ID\\_area=2&ID\\_sub\\_area=2](http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=91&ID_area=2&ID_sub_area=2).
- Engenhariaarquitectura (2013), “Ar condicionado por adsorção”. Acedido a 25 de maio de 2014, em: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/noticias/997/Ar-condicionado-por-adsoracao.aspx>.
- European Commission (2012), "Solar radiation and PV maps - Europe". Acedido a 7 de setembro de 2014, em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe.htm>.
- European Commission (2013), "PV Status Report". Acedido a 7 de setembro de 2014, em: [http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/sites/remea/files/pv\\_status\\_report\\_2013.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/sites/remea/files/pv_status_report_2013.pdf).
- França, A. e Caseiro, L., (2007), “Cogeração e Trigerção”, Acedido a 15 de março de 2014, em: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/co-trigeracao/Trigeracao.pdf>.
- Galp Energia, “Definição de cogeração”. Acedido a 25 de março de 2014, em: <http://www.galpennergia.com/PT/investidor/ConhecerGalpEnergia/Os-nossos-negocios/Gas-Power/Power/Cogeracao/Paginas/Definicao-de-cogeracao.aspx>.
- Manual Motor Stirling (2014), "Como é um motor stirling Alfa". Acedido a 19 de setembro de 2014, em: <http://manualdomotorstirling.blogspot.pt/2014/04/como-e-um-motor-stirling-alfa.html>.
- Grupo de Engenheiros Mecânicos da Bahia (2010), “Projeto ARHTE”. Acedido a 25 de março de 2014, em: <http://gemb-arhte.blogspot.pt/>.
- International Energy Agency, “World Energy Outlook 2013”. Acedido a 2 de maio de 2014, em: [http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/131112\\_WEO2013\\_Presentation.pdf](http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/131112_WEO2013_Presentation.pdf).
- IREDA, BEE, (2006), Best practice manual, “Cogeneration”. Acedido a 2 de julho de 2014, em: <http://www.energymanagertraining.com/CodesandManualsCD-5Dec%2006/BEST%20PRACTICE%20MANUAL-COGENERATION.pdf>
- Kalogirou, S.A. (2004), “Solar thermal collectors and applications”, Progress in Energy and Combustion Science, 30, 231-295.
- Krajacic, G., Duic, N., Zmijarevic, Z., Mathiesen, B., Vucinic, A., Carvalho, M. (2011), “Planning for a 100% independent energy system based on smart energy storage for integration of renewable and CO2 emissions reduction”, Applied Thermal Engineering, 31, 2073-2083.
- LNEG (2009), Solterm 5.1.0[doc. electrónico], Laboratório Nacional de Energia e

- Geologia, I.P., Lisboa.
- NBISCGC, (1998), “Absorption Chiller Guideline Stanford University”; New Buildings Institute for the Southern California Gas Company. Acedido a 5 de maio de 2014, em: <http://web.stanford.edu/group/narratives/classes/0809/CEE215/ReferenceLibrary/Chillers/AbsorptionChillerGuideline.pdf>.
- Oddone D.C., (2001), “Cogeração: Uma alternativa de produção de eletricidade”. Acedido a 5 de abril de 2014, em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-19092011-161011/pt-br.php>.
- Painel solar térmico (2009), “Painel solar térmico”. Acedido a 18 de abril de 2014, em: <http://www.painelsolartermico.com/sistemas-solares-termicos/>.
- Pires, J. (2014), “Novas tecnologias de construção e reabilitação urbana sustentável”, Associação Inova. Gaia, FEUP, Universidade do Porto. Acedido a 20 de fevereiro de 2014, em: [upin.up.pt/docs/6\\_Unidade\\_eficiente.pdf](upin.up.pt/docs/6_Unidade_eficiente.pdf).
- Planetazul (2014), “Cogeração combinada e descentralizada”. Acedido a 23 de fevereiro de 2014, em: <http://www.planetazul.pt/>.
- Portal das energias renováveis (2009), “Legislação - Energias Renováveis – Solar”. Acedido a 9 de abril de 2014, em: <http://www.energiasrenovaveis.com/>.
- Presidência do conselho de ministros, “Renováveis na Hora” resolução do conselho de ministros nº80/2008 de 20 de maio.
- Presidência do conselho de ministros, “Renováveis na Hora” resolução do conselho de ministros nº20/2013 de 10 de abril.
- Proença, E.D.R.B. (2007), “A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM PORTUGAL”. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. IST- Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Radulovic, D., Skok, S., Kirincic, V. (2012), “Cogeneration - Investment dilemma”, *Energy*, 48, 177-187.
- Tian, Y., Zhao, C.Y. (2013), “A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications”, *Applied Energy*, 104, 538-553.
- Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylakto, C., Droutsas, K., Balaras, C.A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G., Papanikolaou, N., (1998), “Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools”, *Energy and Buildings*, 27, 123-135.
- USDE, (1982), “Basic Photovoltaic Principles and Methods”, *Solar Information Module 6213*. Acedido a 20 de abril de 2014.

## ANEXO A – DIFERENTES TIPOS DE COGERAÇÃO

Através do uso de calor útil a cogeração pode ser dividida em dois grande grupos: os ciclos “*bottoming*” e os ciclos “*topping*”. O primeiro consiste na recuperação de calor de um processo que usa temperaturas elevadas, o segundo a energia útil de acionamento é extraída no nível mais alto de combustão e o calor útil no nível mais baixo (Oddone, 2001).

### Turbina a Gás

A turbina a gás opera segundo o ciclo de Brayton e salienta-se o facto de haver um aumento da pressão e da temperatura através da entrada de ar, que misturado com o combustível permite a ocorrência da combustão. O compressor utiliza parte da energia da turbina e a restante é energia mecânica disponível no eixo da turbina.

Um alternador acoplado ao veio da turbina produz eletricidade. A energia térmica dos gases de combustão é recuperada em caldeiras de recuperação de calor (IREDA,2006).

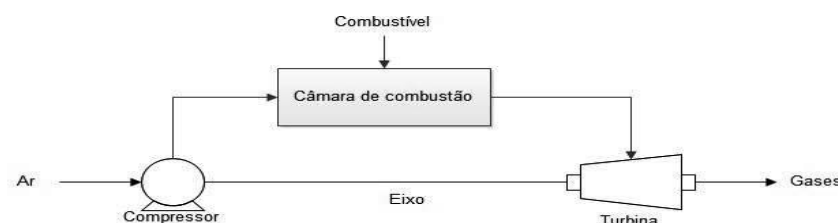


Figura A.1- Ciclo de *Brayton* para aplicação na Cogeração.

### Turbina a Vapor

Este sistema funciona segundo o ciclo de *Rankine*, a turbina utiliza o vapor que é produzido numa caldeira de alta pressão. Esse vapor de elevada entalpia é usado como “combustível” para produzir trabalho mecânico. O vapor é extraído nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo que irá utilizar o calor útil.

Geralmente o fluido é devolvido à caldeira para reiniciar o novamente o ciclo (IREDA,2006).

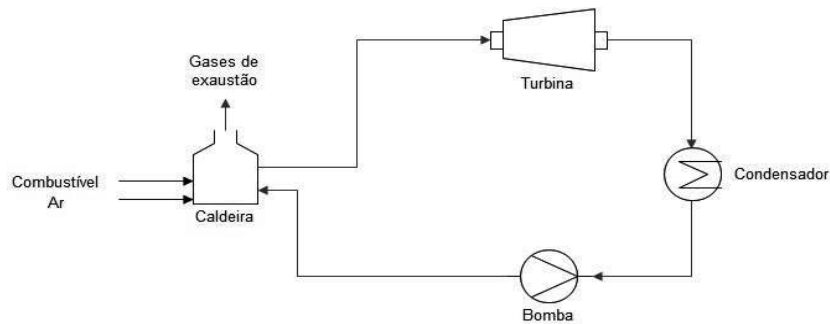


Figura A.2- Esquema do ciclo Rankine na cogeração.

### Ciclo combinado

Ciclo combinado é uma tecnologia de produção de energia que utiliza turbina a gás e turbina a vapor. Basicamente a turbina a gás através da queima do combustível irá produzir eletricidade e vapor de elevada entalpia, de seguida a turbina de vapor é expandida para produzir mais eletricidade e vapor de menor entalpia. Esta tecnologia é utilizada quando se pretende produzir energia elétrica e energia térmica úteis em quantidades variáveis de acordo com as necessidades (IREDA,2006).

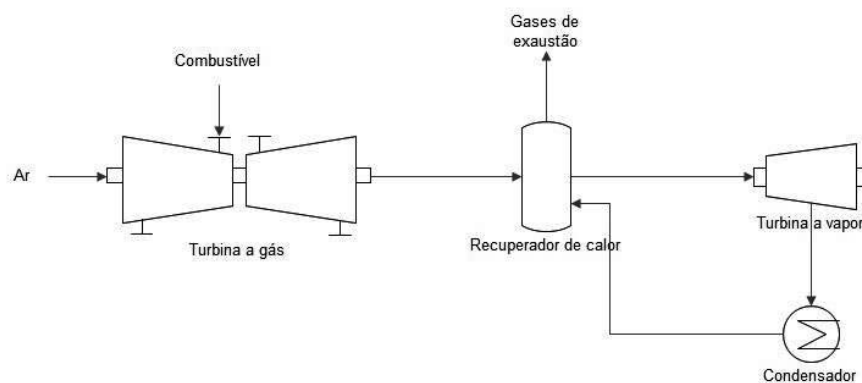


Figura A.3- Funcionamento básico de um sistema de cogeração com ciclo combinado.

### Motor alternativo de combustão interna

Nesta tecnologia, motor alternativo de combustão interna, há dois tipos de ciclos a considerar, ciclo de Otto e Diesel. No ciclo de Otto a energia mecânica para a produção de eletricidade provém essencialmente da energia disponível no veio, a energia térmica a ser aproveitada encontra-se no arrefecimento da água, dos óleos de lubrificação e

gases de combustão. No ciclo de Diesel, a energia provem dos gases de combustão que apresentam temperaturas superiores (França *et al.*, 2007).

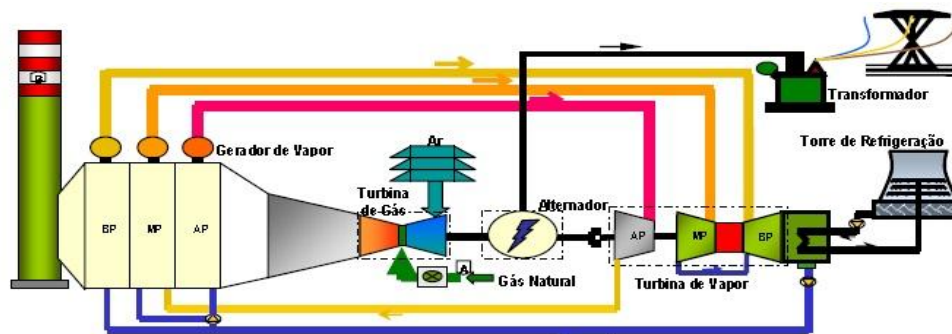


Figura A.4- Funcionamento de um sistema de cogeração com motor alternativo de combustão interna.

## Microturbinas

Existem microturbinas capazes de funcionar num sistema de cogeração, contudo a grande maioria tem como função produzir eletricidade, sendo que têm aparecido alguns casos em que a função principal da turbina é a produção de calor.

Com a aplicação de cerâmica nas secções mais quentes das microturbinas é possível atingir temperaturas mais altas e consequentemente rendimentos mais elevados.

Para que as microturbinas funcionem em cogeração há a necessidade de aplicação de um permutador adicional, para aproveitar a alta temperatura dos gases de escape (França *et al.*, 2007).

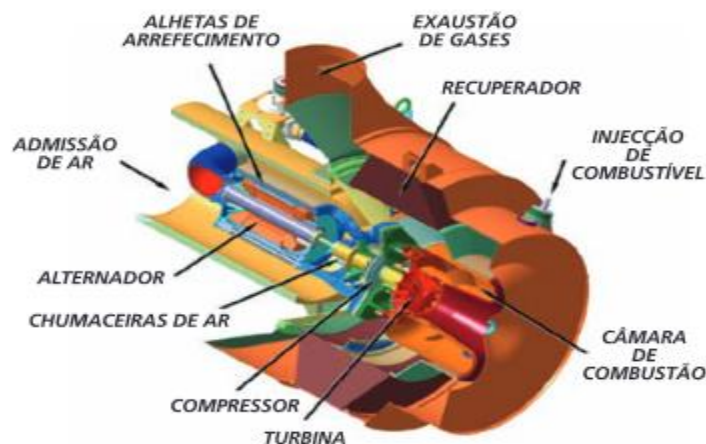


Figura A.5- Funcionamento das microturbinas para aplicação em cogeração (Capstone, 2014).

## Células/Pilhas de combustível

Esta tecnologia, Células/Pilhas de combustível, consiste na conversão direta de energia química em energia elétrica, sem pontos intermédios.

As pilhas de combustível podem em teoria operar indefinidamente, desde que tenham combustível, neste caso o hidrogénio. São constituídas por dois elétrodos, cátodo e ânodo, que são positivo e negativo, respetivamente. Para haver o transporte de iões para o elétrodo contrário todas as células têm um eletrólito, para além deste apresentam um catalisador, que acelera as reações eletroquímicas (França *et al.*, 2007).

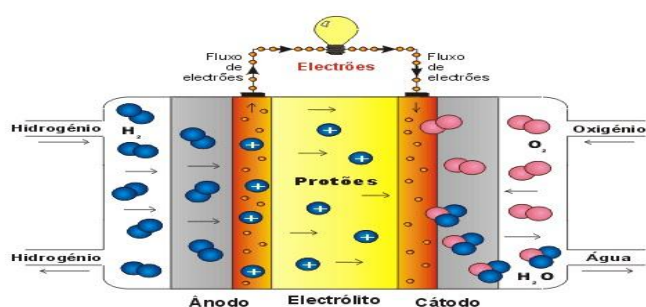


Figura A.6- Funcionamento geral das pilhas de combustível (células de combustível, 2002).

## Motores Stirling

Um motor Stirling usa o **ciclo Stirling**, diferente dos ciclos usados nos motores de combustão interna. A energia térmica é fornecida externamente ao cilindro e os gases usados no interior de um motor Stirling nunca saem. Não existem válvulas de escape para libertar gases a alta pressão, como existe num motor a gasolina ou gasóleo e não ocorre combustão no seu interior. O ciclo Stirling pode usar como fonte de calor desde, gasolina, energia solar ou até o calor produzido por plantas em decomposição (França *et al.*, 2007).

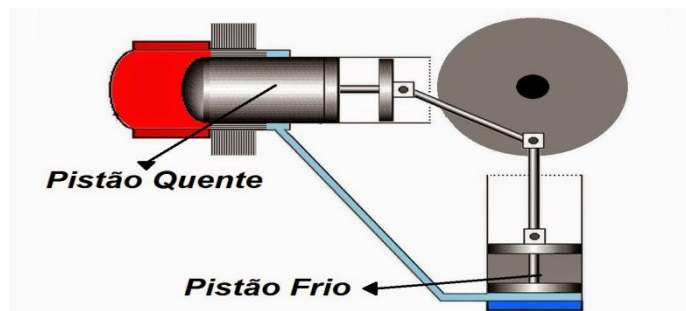


Figura A.7- Funcionamento geral de um motor Stirling (Manual Motor Stirling, 2014).

## ANEXO B – PAINÉIS SOLARES

### Coletores solares térmicos

Os coletores solares conseguem através da sua superfície transformar a energia solar em calor útil. Existem dois tipos de coletores solares sem concentração e com concentração. No primeiro, a área de interceção e absorção são iguais, enquanto no segundo normalmente possui superfícies côncavas para intercepar e focar numa área de superfície mais pequena resultando em um aumento do calor e da eficiência (Tian *et al.*, 2013). No presente trabalho, como já foi referido, apenas os sistemas sem concentração irão ser considerados, por isso haverá um maior foco nesses sistemas.

#### Coletores planos

Estes coletores usualmente estão fixos numa posição e quando houver necessidade são orientados apropriadamente. São constituídos por uma superfície absorvedora, tubagem para circulação do fluido térmico, cobertura, isolamento térmico e caixa. O método de funcionamento é bastante simples a radiação solar passa pela cobertura e atinge a superfície absorvedora de grande absorvidade, assim uma grande porção desta energia passa para o fluido térmico (Tian *et al.*, 2013).

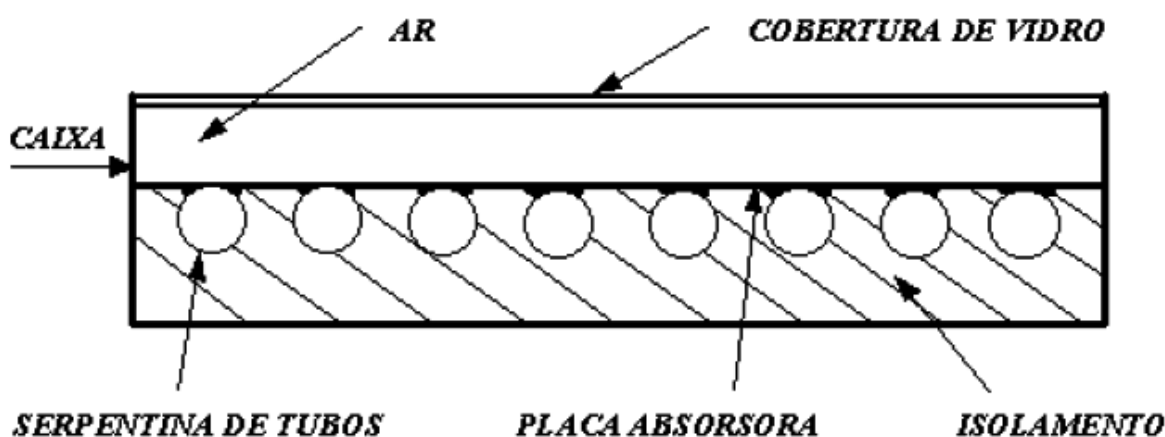


Figura B.1- Elementos gerais de coletor solar plano.



### Coletores parabólicos

Os coletores parabólicos têm a capacidade de refletir para o absorvente toda a radiação incidente dentro dos seus amplos limites, assim a radiação que entra neste coletor, através de uma série reflexões acaba por chegar à superfície do absorvente localizado na parte inferior (Kalogirou, 2004).

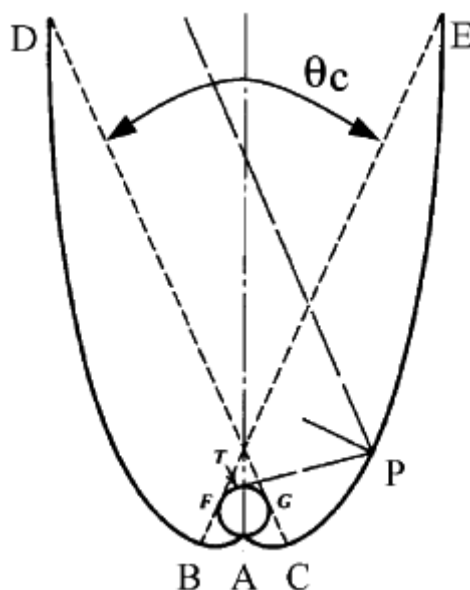


Figura B.2- Estrutural geral de um coletor solar parabólico.

### Coletores tubos de vácuo

Os coletores solares de tubos de vácuo são uma alternativa para um aproveitamento energético de maior rendimento.

Este tipo de coletores são particularmente indicados para aplicações em que se requer um alto rendimento (produção de vapor e processos industriais), para locais de baixa radiação solar ou onde exista uma menor área disponível para a instalação e também em lugares relativamente mais frios onde exista uma maior diferença entre a temperatura ambiente e a do coletor.

A radiação absorvida é transferida para um tubo de cobre no interior de um tubo de vácuo, que tem no seu interior um líquido que vaporiza com o calor. Este sobe até ao ponto mais alto do tubo onde se encontra o condensador. A água fria passa pelos vários condensadores do coletor absorvendo assim o calor fornecido por estes (Kalogirou, 2004).

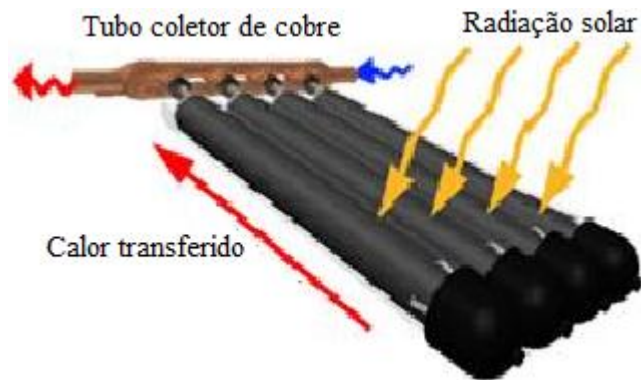


Figura B.3- Princípio geral de funcionamento de coletores tubos de vácuo (DERN, 2014).

Na Tabela B.1 constam algumas características dos principais tipos de coletores solares.

Tabela B.1- Características dos principais tipos de coletores solares (Kalogirou, 2004).

Solar energy collectors				
Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15–45	60–300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10–50	60–300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100–1000	100–500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100–1500	150–2000

*Note:* Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.

## Painéis fotovoltaicos

### Células de silício cristalino (1ª Geração)

É a geração tecnológica que domina o mercado, dentro destes, o silício monocristalino é o mais antigo. Tipicamente, apresenta eficiências entre os 15% e os 18% e é utilizado em todo o tipo de aplicações terrestres de média e elevada potência. O silício multicristalino (ou policristalino) é uma alternativa um pouco mais barata, mas também menos eficiente ficando-se pelos 12% a 15% de eficiência (Proença, 2007).

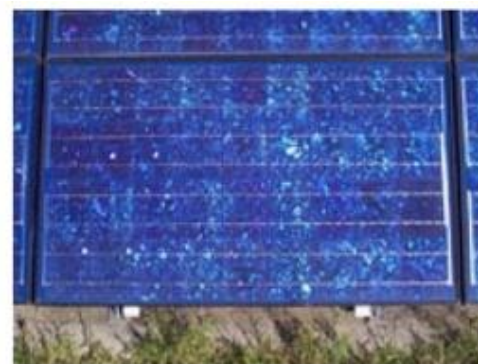


Figura B.4- Painel com células monocristalinas à esquerda e policristalinas à direita (CEEETA, 2001).

### Células de película fina (2ª Geração -Amorphoussilicon)

A segunda geração de células vem responder a uma necessidade de redução do consumo de silício, que requer elevadas temperaturas na produção e um grau de pureza muito alto. A película fina tem também a vantagem de ser muito mais leve, permitindo aplicações integradas em fachadas de edifícios. Embora apresente eficiências muito mais baixas do que as de primeira geração, da ordem dos 7% a 10%, o seu fabrico é mais barato, e funciona com uma gama de luminosidade mais alargada: pode-se utilizar calculadoras solares apenas com iluminação difusa (Proença, 2007).



Figura B.5- Painel com células SI amorfo

### Novas células solares (3ª Geração)

Novas tecnologias estão ainda em fase de estudos. Estas prometem grandes eficiências e custos muito mais baixos, mas o seu processo de desenvolvimento tecnológico não deverá permitir que tenham expressão significativa no mercado nos próximos 10 a 15 anos. Refiram-se as tecnologias nanocristalinas sensibilizadas com colorantes, microcristalinas, micromorfas e híbridas. É ainda importante referir uma outra já bastante usada, mas apenas em situações muito específicas: o Arsénio de Gálio (GaAs) apresenta rendimentos que podem chegar a 25%, mas tem custos de produção muito elevados, que só permitem o seu uso em satélites (Proença, 2007).

Para os três tipos de células mais usados nos sistemas fotovoltaicos, segue Tabela B.2 os seus rendimentos típicos.

Tabela B.2- Rendimento típico das diferentes células nos sistemas fotovoltaicos (CEEETA, 2001).

	<b>Rendimento típico</b>	<b>Máximo registado em aplicações</b>	<b>Rendimento máximo registado em laboratório</b>
<b>Mono-cristalina</b>	12-15%	22.7%	24.0%
<b>Poli-cristalina</b>	11-14%	15.3%	18.6%
<b>Silício amorfo</b>	6-7%	10.2%	12.7%

## ANEXO C – SOLTERM 5.0<sup>®</sup>

Para melhor entendimento de como foi utilizado o *Solterm 5.0*<sup>®</sup>, segue-se algumas imagens e explicação de alguns parâmetros utilizados.

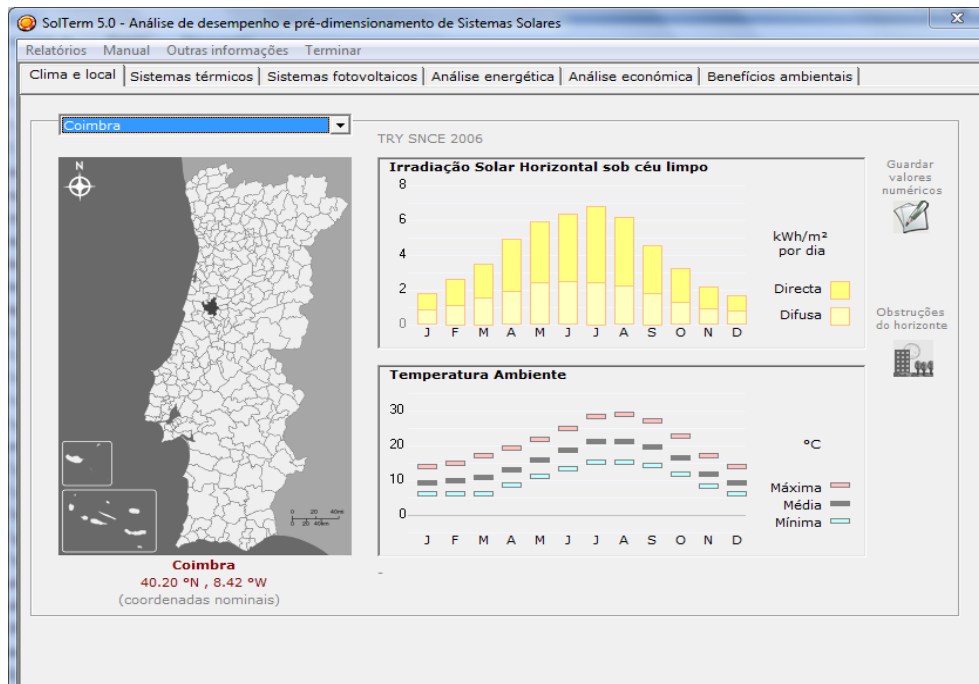


Figura C.1- Interface *Solterm 5.0*<sup>®</sup>.

Inicialmente houve a necessidade de escolher o concelho referente ao nosso estudo e incluir obstruções caso estas existissem.

## Térmico

Referente à análise térmica segue-se os vários passos de uma forma resumida que foram realizados para tornar esta análise possível.

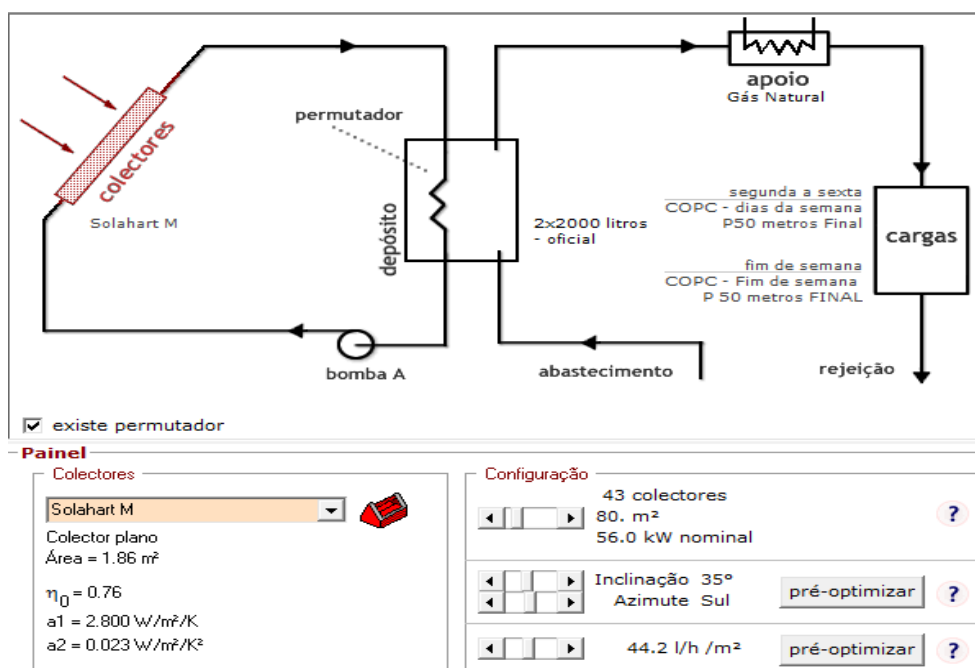


Figura C.2- Análise à produção de água quente da 1ª simulação.

Esta imagem reflete todos os equipamentos considerados na análise térmica efetuada e todos os dados a ter em consideração.

Um dos equipamentos de maior importância neste sistema são os depósitos, seguem na Tabela C.1 as características dos dois depósitos considerados.

Tabela C.1- Características dos depósitos adaptados.

Depósito (l)	Localização	Material	Posição	Volume (l)	Área externa (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de perdas (W/m <sup>2</sup> /°C)
2x2000	Interior	Inox	Vertical	4000	12,03	1,08
3x2000	Interior	Inox	Vertical	6000	18,28	1,03

Na Figura C.3 está representada a análise energética relativa à primeira simulação do Solahart M.

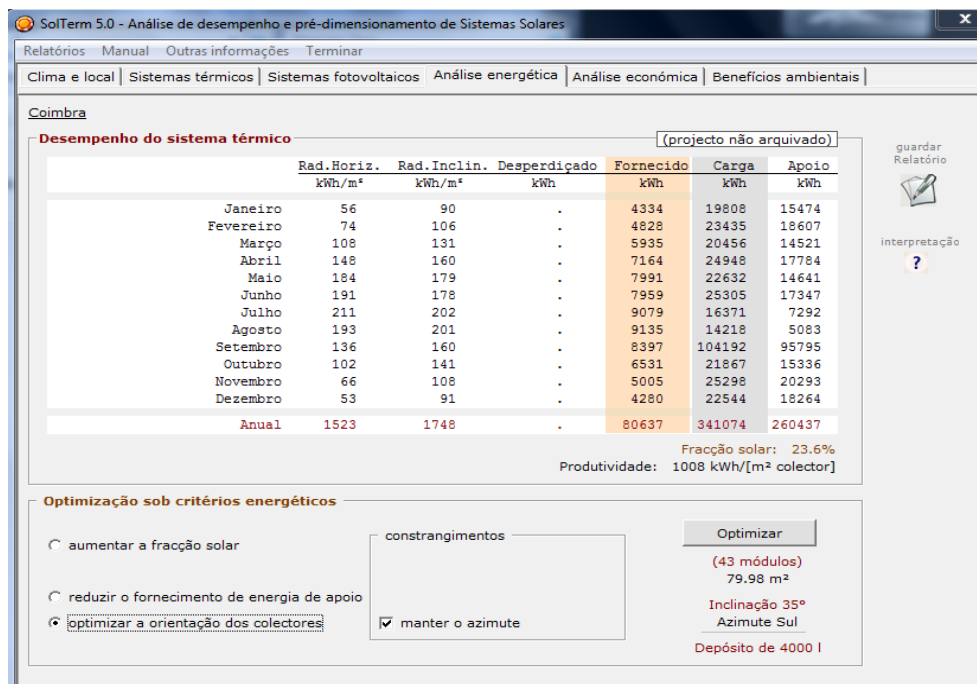


Figura C.3- Análise energética para produção de água quente na 1ª simulação.

Segue-se uma breve explicação dos parâmetros envolvidos os quais refletem a energia acumulada (mensal ou anual).

- Rad. Horiz. - Trata-se da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m<sup>2</sup>).
- Rad. Inclín. - É a energia solar global à face dos coletores solares, por unidade de área (kWh/ m<sup>2</sup>), portanto num plano inclinado. Note-se que este valor não conta com o efeito “modificador de ângulo” (fração de energia solar que não é absorvida, pelos tubos de circulação de água e eventuais alhetas, quando a radiação não está a incidir na perpendicular ao plano de abertura do coletor.
- Desperdiçado – Energia que o sistema solar recolhe mas tem de dissipar (kWh). Este desperdício está quase sempre relacionado com a capacidade de armazenamento.
- Energia fornecida ao sistema – É a energia que o sistema fornece para consumo, é então a energia final útil (kWh).
- Carga– Energia solicitada para consumo (kWh).
- Apoio – Será a energia para complementar o sistema solar, esta é entregue pelo sistema de apoio (kWh).

Os resultados dos índices anuais, relativos à análise térmica nas diferentes simulações, encontram-se presentes na Tabela C.2.

**Tabela C.2- Índices anuais nas simulações em estudo na produção de água quente.**

Simulação	Coletor	Fração solar (%)	Rendimento (%)	Produtividade (kWh/m <sup>2</sup> )
1	Solahart M	23,6	57,7	1008
2	Solahart M	32,7	58,2	1016
1	Yazaki SP-X1020-3HO	24,1	48,5	847
2	Yazaki SP-X1020-3HO	34,1	48,7	851
1	Megasun ST 2500	24,1	51,1	893
2	Megasun ST 2501	33	51,9	907
1	Solargus CS1CV	20,6	36	629
2	Solargus CS1CV	34,4	32,2	563
1	Immosolar-Is PRO1H	24,3	43,3	757
2	Immosolar-Is PRO1H	34,3	43,8	765
1	Maltezos CSW 130x150	24	54,6	954
2	Maltezos CSW 130x150	33,2	55,1	965

Índices anuais:

$$\text{Fração solar} = \frac{\text{Energia fornecida ao sistema}}{\text{Carga}}$$

$$\text{Rendimento do sistema} = \frac{\text{Energia fornecida ao sistema}}{\text{Rad. Incl.} \times \text{Área do painel}}$$

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Energia fornecida ao sistema}}{\text{Área do painel}}$$



De forma a complementar a informação sobre as várias simulações efetuadas, segue uma tabela com informação adicional.

**Tabela C.3- Informação adicional para cada simulação.**

Simulação	Coletor	Depósito (l)	Número de módulos	Caudal no grupo painel (l/m <sup>2</sup> )
1	Solahart M	2x2000	43	44,2
2	Solahart M	3x2000	59	44,2
1	Yazaki SP-X1020-3HO	2x2000	51	59,3
2	Yazaki SP-X1020-3HO	3x2000	72	59,3
1	Megasun ST 2500	2x2000	40	45,9
2	Megasun ST 2500	3x2000	54	45,9
1	Solargus cs1cv	2x2000	69	78,3
2	Solargus cs1cv	3x2000	129	78,3
1	Immosolar-Is Pro1H	2x2000	137	62,3
2	Immosolar-Is Pro1H	3x2000	191	62,3
1	Maltezoscsw 130x150	2x2000	49	53,3
2	Maltezoscsw 130x150	3x2000	67	53,3

## Fotovoltaico

Para a realização da análise à produção de eletricidade foram efetuados vários passos, segue-se um resumo dessas etapas.

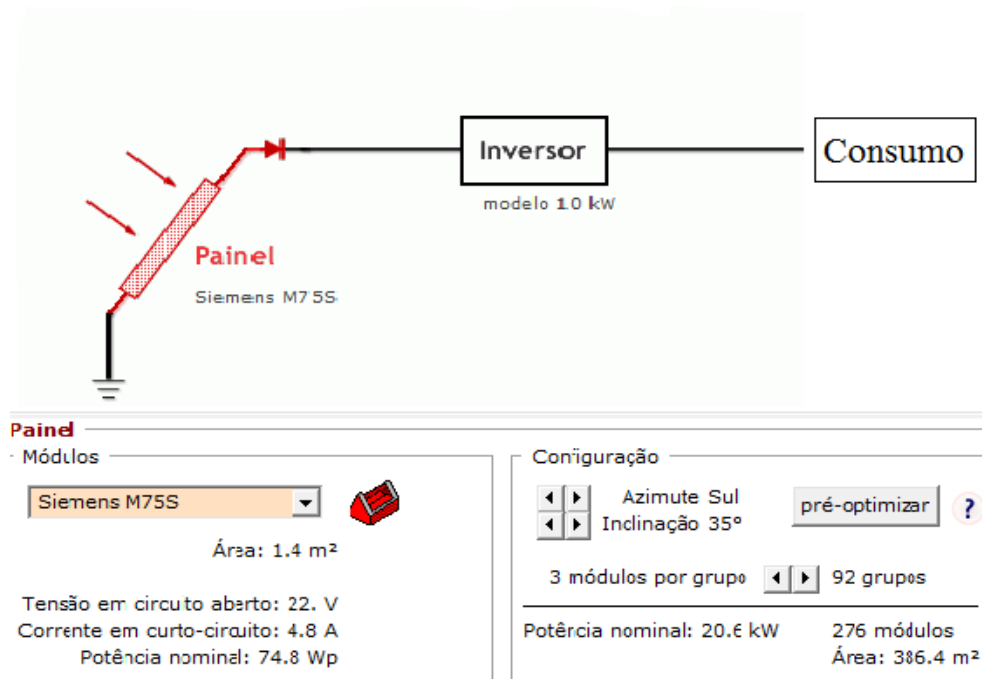


Figura C.4- Análise à produção de eletricidade da 1ª simulação.

Os únicos equipamentos existentes é o painel fotovoltaico e o inversor, este último converte a corrente de contínua para alternada. Como já dito anteriormente armazenamento por baterias não foi considerado.

Na Figura C.5 encontram-se os resultados obtidos na primeira análise, onde se utilizou o painel Siemens M75S.

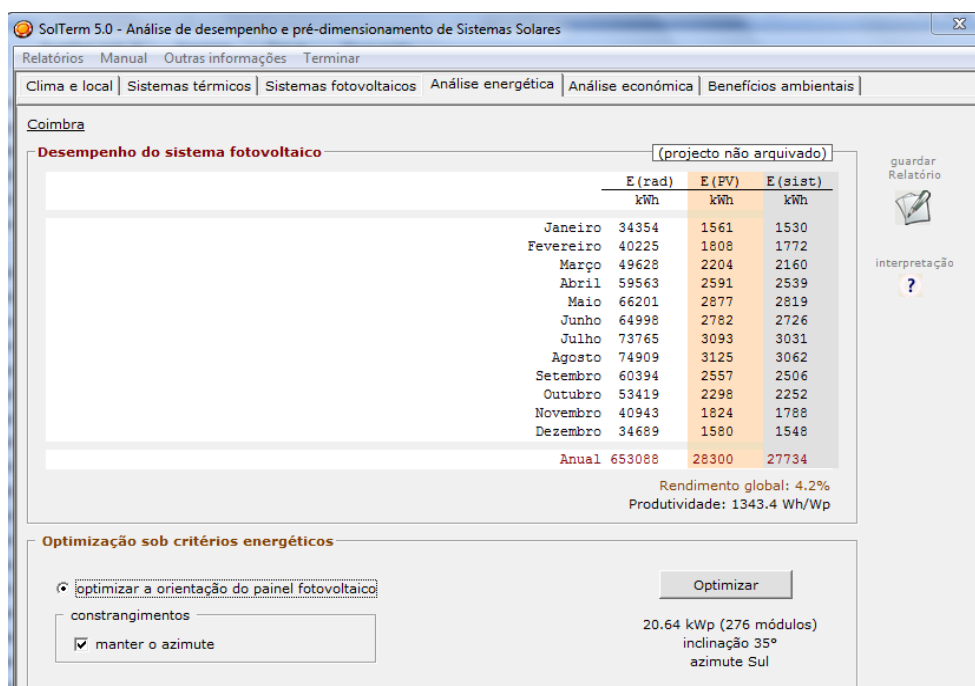


Figura C.5- Análise energética para produção de eletricidade da 1ª simulação.

Chegou-se a produção de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico, onde se encontram vários parâmetros que passam a ser explicados:

- E (rad) – Energia diária média na radiação solar global à face do painel fotovoltaico (kWh), portanto em geral num plano inclinado. Não tem incluído o efeito de “modificador de ângulo”.
- E (pv) – Energia diária média na radiação solar convertida pelos módulos do painel fotovoltaico (kWh).
- E (exc) – Energia diária média que o painel fotovoltaico converte mas que o sistema tem que dissipar (kWh).
- E (sist) – energia diária média que o sistema fornece para consumo (kWh). Trata-se de energia final útil.

Os resultados dos índices anuais, relativos à análise fotovoltaica nas diferentes simulações, encontram-se presentes na Tabela C.4.

**Tabela C.4- Índices anuais nas simulações em estudo na produção de eletricidade.**

Simulação	Painel	Rendimento (%)	Produtividade (Wh/Wp)
1	Siemens M75S	4,2	1136
2	Siemens M75S	4,2	1136
1	BP 3160	10,5	1401,3
2	BP 3160	10,5	1401,3
1	Kyocera Kc167G-2	8,8	1135,6
2	Kyocera Kc167G-2	8,8	1135,6

Índices anuais:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Energia fornecida ao sistema}}{\text{Potência nominal instalada}}$$

$$\text{Rendimento do sistema} = \frac{\text{Energia fornecida ao sistema}}{E \text{ (rad)}}$$

Probabilidade de perda de carga – Trata-se do número de horas em que o sistema não pôde atender à solicitação do consumo, expressa em percentagem do número de horas em que é solicitado consumo. É portanto por assim dizer uma probabilidade de falha do sistema solar, uma vez que neste caso não há gerador auxiliar que possa entrar em funcionamento.

De modo a compreender melhor as diferentes simulações na Tabela C.5 tem-se alguma informação extra, principalmente relacionada com os módulos fotovoltaicos.

**Tabela C.5- Dados extra de cada simulação**

Simulação	Painel	Número total de módulos	Área (m <sup>2</sup> )	Módulos por grupo
1	Siemens M75S	276	386,4	3
2	Siemens M75S	552	772,8	3
1	BP 3160	126	158,6	7
2	BP 3160	245	308,3	7
1	Kyocera Kc167G-2	144	183,9	6
2	Kyocera Kc167G-2	288	367,8	6

Na Tabela C.6 contém a disposição de inversores em cada simulação, foi escolhida esta disposição para que em caso de avaria de um, o sistema nunca pare totalmente, o que poderia acontecer com apenas um inversor de potência suficiente para servir todos os painéis.

**Tabela C.6- Tipo de combinações de inversores utilizadas em cada simulação.**

Painel	Potência instalada (kWp)	Inversores
Siemens M75S	20,6	2 inversores de 10kW
Siemens M75S	41,3	2 inversores de 15kW e 1 de 10kW
BP 3160	20	2 inversores de 10kW
BP 3160	39	2 inversores de 15kW e 1 de 10kW
Kyocera Kc167G-2	24,1	1 inversor de 15 kW e 1 de 10 kW
Kyocera Kc167G-2	48,11	3 inversores de 15 kW

## ANEXO D- DADOS EQUIPAMENTOS DO DVC

No DVC existem dois tipos de equipamentos para produzir frio: Chillers e banco de gelo.

A Figura D.1 contém os dados relativos aos chillers.

	(1)				
<b>Cooling capacity</b>	<b>kW</b>	<b>1216</b>			
Compressor power input	kW	444			
Total power input (unit)	kW	461			
Exchanger water flow	m <sup>3</sup> /h	209			
Exchanger water pressure drop	kPa	57			
ElectronicControl	<b>CVM</b>	<b>3000</b>			
			<b>Fans</b>		
			Number of fans	n	20
			Air flow	m <sup>3</sup> /s	66,4
	(1) (5)		<b>Compressors</b>		
<b>Cooling capacity</b>	<b>kW</b>	<b>1262</b>	Number of compressors	n	3
Compressor power input	kW	428	Number of circuits	n	3
Total power input (unit)	kW	445	Capacity steps (unit)	STD+OPT n	6
Desuperheater thermal capacity	kW	396			
Evaporator water flow	m <sup>3</sup> /h	217	<b>Charge</b>		
Evaporator water pressure drop	kPa	61	Refrigerant	Kg	307
Desuperheater water flow	m <sup>3</sup> /h	69	Oil	Kg	84
Desuperheater water pressure drop	kPa	29			
ElectronicControl	<b>CVM</b>	<b>3000</b>	<b>Operating weight</b>	Kg	12060
	(1) (6)		<b>Sound power level</b>	(4) dB(A)	99
<b>Cooling capacity</b>	<b>kW</b>	<b>1303</b>	<b>Sound pressure level</b>	(3) dB(A)	80
Compressor power input	kW	386			
Total power input (unit)	kW	386			
Heat recovery thermal capacity	kW	1666	(1) Chilled water (in/out) 12/7 °C		
Evaporator water flow	m <sup>3</sup> /h	224	Condensing air (in) 35 °C		
Evaporator water pressure drop	kPa	65	(3) At 1 metre (see "Full load sound level" section)		
Recuperator water flow	m <sup>3</sup> /h	290	(4) According to ISO 3744 (see "Full load sound level" section)		
Recuperator water pressure drop	kPa	49	(5) Desuperheater water (in/out) 40/45 °C		
ElectronicControl	<b>CVM</b>	<b>3000</b>	(6) Recovery water (in/out) 40/45 °C		

Figura D.1- Características dos chillers.

Em relação ao banco de gelo a informação de maior relevo segue na Tabela D.1.

Tabela D.1- Características do banco de gelo.

Technical Data		
Total storage capacity	(kWh)	13560
Latent storage capacity	(kWh)	12100
Sensible storage capacity (-2°C to +6°C)	(kWh)	1460
Maximum operating temperature (°C)		40
Maximum operating pressure (bar)		3
Total water content (m <sup>3</sup> )		188
Ice/water volume(m <sup>3</sup> )		130
Water/glycol content(m <sup>3</sup> )		6,91
Connection flange size ND 16 (DN)		250