



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Eficiência energética em complexos de piscinas interiores**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

## **Energy efficiency in indoor swimming pools**

**Autor**

**Emanuel da Silva Lopes Fernandes**

**Orientadores**

**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

**Professor Doutor José Carlos Góis**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b> <b>Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>
<b>Vogais</b>	<b>Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>

**Colaboração institucional**

---



CÂMARA MUNICIPAL  
COIMBRA

**Câmara Municipal de  
Coimbra**

**Coimbra, Setembro, 2016**



“You see things; and you say 'Why?' But I dream things that never were; and I  
say 'Why not?' “

George Bernard Shaw, 1921.

A minha Família



Este trabalho foi desenvolvido em formato estágio curricular, numa parceria entre a Câmara Municipal de Coimbra e a Universidade de Coimbra.



## Agradecimentos

Quero começar por agradecer aos meus orientadores Professor Doutor Adélio Gaspar e o Professor Doutor José Gois por se terem disponibilizado sempre para me tirar dúvidas e para me ajudar a completar este trabalho.

Quero agradecer à Câmara Municipal de Coimbra por disponibilizar esta hipótese e também aos Engenheiros responsáveis pelo COPM, Engenheiro João Salustiano, Engenheiro Paulo Rodrigues e a Engenheira Silvina Batista, por me terem acolhido tão bem e por me terem ajudado e tirado dúvidas sempre que precisei e por terem partilhado as suas experiências e conhecimentos comigo, que serão sem dúvida uma mais-valia para o meu futuro.

Quero ainda agradecer à minha família por me terem apoiado ao longo destes 5 anos, em especial à minha irmã Teresa, sem ti isto não teria sido possível.

A todos os meus amigos e colegas que de uma forma ou de outra me apoiaram neste percurso e me ajudaram a chegar tão longe.

À fireteam por todos os momentos de descontração e divertimento que vivi com vocês nesta cidade incrível. Tornaram este ano incrível, desde as Lan-parties a todas as noitadas, obrigado!

E finalmente à minha namorada, Filipa, por todo o incentivo e carinho que me dás.



## Resumo

Os complexos desportivos são em geral grandes consumidores de energia, em particular os que têm piscinas interiores. Em Portugal a gestão deste tipo de edifícios pertence na sua maioria às câmaras municipais. Estando estas fortemente condicionadas em termos dos gastos financeiros, importa melhorar a eficiência energética deste tipo de complexos, de modo a diminuir os consumos e os custos associados.

Nesta dissertação é estudado o Complexo Olímpico de Piscinas Municipais de Coimbra, considerado um dos maiores e melhores complexos em Portugal. São analisados os consumos de eletricidade, gás natural e água e os seus respetivos custos. São calculados indicadores para comparação com valores de referência em guias de boas práticas. São também apresentados os resultados obtidos das medições efetuadas no sistema de AVAC, para estudar as temperaturas nas superfícies da bomba de calor desumidificadora e a potência elétrica consumida.

Como as perdas térmicas por evaporação são consideráveis é efetuado um estudo aprofundado para as temperaturas reais registadas durante o ano de 2015, por comparação com as temperaturas de projeto. Conclui-se que há um potencial de poupança superior a 40 % na energia térmica usada para aquecer a piscina, com um controlo mais apertado e criterioso das condições ambientais da nave e da temperatura da água das piscinas.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, Piscinas interiores, Consumos, Evaporação, AVAC.



## **Abstract**

Sport complexes are in general great energy consumers, in particular those with indoor swimming pools. In Portugal most of these swimming pools are municipal buildings that are managed with public money, what makes even more important to study energy efficiency in this cases.

In this thesis is studied the Olympic Complex of swimming pools of Coimbra, which is one of the best and biggest complexes in Portugal. Electricity, natural gas and water consumptions and respective costs are analyzed and indicators are obtained for comparative purpose with reference values available in Guides of good practices.

In this study are also presented the results of measurements done in the HVAC system to study the thermal conditions and is electric power input.

The evaporation rate was calculated with both the real conditions and the design conditions and was concluded that by changing the set point values to the design conditions could be save up to 40 % in the energy losses by the pool.

**Keywords** Energy Efficiency, Swimming Pools, Consumption, Evaporation, HVAC.



## Índice

ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Simbologia e Siglas .....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Desenvolvimento do estágio .....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. Eficiência energética em complexos de piscinas .....	5
2.2. Estudos anteriores .....	11
3. CASO DE ESTUDO .....	17
3.1. Caracterização do edifício .....	17
3.2. Consumos e custos.....	18
3.2.1. Número de utentes .....	18
3.2.2. Consumos de água.....	19
3.2.3. Consumos energéticos .....	21
3.2.4. Rácios dos consumos de energia por tipo e por utente.....	23
3.2.5. Rácios dos consumos de energia e água.....	26
3.2.6. Custos .....	27
4. CALCULO DAS PERDAS TÉRMICAS NA PISCINA E ANÁLISE DO SISTEMA DE AVAC .....	29
4.1. Perdas térmicas .....	29
4.1.1. Perdas por evaporação .....	29
4.1.2. Perdas por radiação.....	30
4.1.3. Perdas por convecção .....	30
4.1.4. Perdas por reposição .....	31
4.2. Análise do sistema de AVAC .....	34
4.2.1. Medições de temperatura e potência elétrica.....	36
4.2.2. Resultados obtidos.....	38
5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO .....	46
ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS .....	50
APÊNDICE C- CÁLCULOS DAS PERDAS TERMICAS DAS PISCINAS .....	53

APÊNDICE D – TEMPERATURAS EXTERIORES .....	55
APÊNDICE E - EQUIPAMENTOS E ESBOÇO DA UTA .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 -Consumos típicos de complexos de piscinas interiores, adaptado de DETREE 2013 .....	6
Figura 2.2 – Custos típicos de complexos com piscinas interiores, adaptados de DETREE 2013 .....	6
Figura 2.3 - Perdas térmicas piscinas cobertas .....	8
Figura 2.4 - Perdas térmicas piscinas exteriores.....	8
Figura 2.5 - Número de utilizadores do COPM 2010 a 2014, retirado de Ramos 2015 .....	11
Figura 2.6 - Consumos energéticos, adaptado de Almeida 2014 .....	13
Figura 2.7 - Consumos energéticos, adaptado de Apolinário 2015.....	13
Figura 3.1 - COPM de Coimbra .....	17
Figura 3.2 - Gráfico com Número de utentes por mês, desde 2010 a 2015 .....	18
Figura 3.3 - Número total de utentes por ano período de 2010 a 2015 .....	19
Figura 3.4 - Consumos de água ao longo do ano .....	20
Figura 3.5 - Consumo de Gás natural por mês, período de 2010 a 2015 .....	21
Figura 3.6- Consumo de energia elétrica por mês.....	22
Figura 3.7 – Consumos anuais de gás natural e eletricidade ao longo dos anos .....	23
Figura 3.8 -Distribuição dos consumos energéticos nos últimos 3 anos.....	24
Figura 3.9 -Consumos médios de energia total por mês, com desvio padrão, para o período de 2012 a 2015 .....	25
Figura 3.10 - Comparação entre os custos de energia térmica, eletricidade e água (2015) .....	27
Figura 4.1 - Diagrama psicrométrico.....	33
Figura 4.2 - Esquema de funcionamento da bomba desumidificadora .....	35
Figura 4.3 - Medições efetuadas e temperatura exterior.....	38
Figura A.1 - Nave da piscina olímpica .....	49
Figura B.1 - UTA-P1 piso 5 .....	52
Figura C.1 - Dados evaporação diária [kWh/m <sup>2</sup> ] .....	54
Figura E.1 - Esboço das UTA's do COPM .....	56



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo típico anual, adaptado do guia de boas práticas (DETREE).....	6
Tabela 2.2 - Temperaturas da água da piscina, de acordo com a atividade praticada, adaptado de Carbon trust (2006) .....	8
Tabela 2.3 - Desagregação dos consumos totais de energia em 3 complexos de piscinas de Coimbra (adaptado de Apolinário, 2015).....	13
Tabela 2.4 - Consumos e custos específicos no CPRA, adaptado de Apolinário 2015.....	14
Tabela 2.5 - Consumo específico de eletricidade e gás natural, adaptado de Ramos 2015	14
Tabela 2.6 - Rácios dos custos, adaptado de Fontes 2015.....	15
Tabela 2.7 - Perdas térmicas CPRA, adaptado de Fontes 215 .....	16
Tabela 3.1 – Consumos específicos água .....	20
Tabela 4.1- Energia térmica perdida.....	32
Tabela 4.2 - Valores de projeto e valores reais de temperatura.....	32
Tabela 4.3 - Dados considerados em projeto para temperatura e humidade relativa .....	34
Tabela C.1 – Cálculo das perdas térmicas por evaporação médias para cada mês , na piscina olímpica.....	53
Tabela C.2 - Cálculo das perdas térmicas por evaporação médias para cada mês, na piscina de 25 m. ....	54
Tabela D.1 - Dados de temperatura e humidade relativa exteriores, semana de 17 a 23 de junho.....	55



## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$c_p$ - Calor específico a pressão constante [MJ/(K.kg)];

$\varepsilon_w$ -Representa a emitância de grande comprimento de onda da água (0,95);

$FP$ - Fator de potência;

HR – humidade relativa;

$I$ - Intensidade de corrente [A];

$m_{evap}$  – Taxa de massa de água evaporada [kg/(m<sup>2</sup>.dia)];

$q_e$  - Taxa perdas térmicas por evaporação [MJ/ (m<sup>2</sup>.d)];

$p_{enc}$ - Pressão do vapor parcial no ar circundante da piscina [kPa];

$P_{fase}$ - Potencia elétrica em cada fase [W];

$p_s$ - Pressão do vapor saturado à temperatura do ar,  $T_a$  [kPa];

$p_w$ - Pressão do vapor parcial à temperatura da água da piscina,  $T_w$  [kPa];

$q_c$ -perdas térmicas por convecção [MJ/ (m<sup>2</sup>. dia)];

$q_r$ -perdas térmicas por radiação [MJ/ (m<sup>2</sup>. dia)];

$q_{reposição}$ - Perdas térmicas devidas a adição de água para compensação de perdas [MJ/ (m<sup>2</sup>. dia)];

$T_a$ -Temperatura do ar [°C];

$T_{enc}$ - Representa a temperatura das paredes do edifício envolvente do edifício para piscinas interiores [K];

$T_{reposição}$ - Temperatura da água injetada para compensar as perdas [°C];

$T_w$ - Temperatura da água da piscina [°C];

$v$ -representa a velocidade do vento 0,3 m acima do plano de água [m/s];

$V$ - Diferença de potencial [V];

$v_s$  - Velocidade do ar à superfície da piscina [m/s];

$\sigma$ -Constante de Stefan-Boltzmann (igual a  $5,67 \times 10^{-8} W / (m^2.K^4)$ );

## **Siglas**

AQS – Águas Quentes Sanitárias

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COPM- Complexo Olímpico de Piscinas Municipais

CPRA- Complexo Piscinas Municipais Rui Abreu

GEE- Gases com Efeito de Estufa

GN – Gás natural

PMLLC -Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição

QAI – Qualidade do Ar Interior

SCE- Sistema de Certificação Energética

UTA- Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VRV – Volume de Refrigerante Variável;

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Com o aumento da demanda de energia e a diminuição dos recursos energéticos não renováveis por pressão para baixar as emissões de CO<sub>2</sub> é cada vez mais importante apostar na eficiência energética, não só por questões ambientais, mas também por questões económicas. Devido a estas causas, nos últimos anos têm sido impostas metas cada vez mais restritivas para reduzir o consumo de energia fóssil e diminuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). A criação da Diretiva 2012/27/EU, por parte da União Europeia, veio atuar neste sentido, promovendo o aumento da eficiência dos consumos energéticos e fazendo com que sejam criadas legislações e auditorias para controlar e aferir os gastos de energia de acordo com as metas a alcançar. Tendo em conta a crise económica que nos últimos anos tem vindo a afetar um grande número de países, inclusive Portugal, torna-se importante implementar medidas que visem a aumentar a eficiência energética e reduzir os custos com a compra de combustíveis não renováveis.

Os complexos desportivos em Portugal são na sua maioria edifícios municipais, de grandes dimensões e com elevados consumos de energia. No entanto, este tipo de edifícios foi ainda pouco estudado em Portugal.

Os complexos com piscinas interiores, devido aos elevados consumos de energia térmica e elétrica inerentes ao aquecimento das piscinas e do espaço interior, representam uma fatia considerável no custo dos municípios. Os equipamentos que são responsáveis por estas funções estão a maior parte do tempo a funcionar durante 24h por dia, o que torna da maior importância estudar este tipo de edifícios para se poder otimizar os consumos e aumentar a eficiência energética.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo deste trabalho é a análise dos consumos e custos do Complexo Olímpico de Piscinas Municipais de Coimbra (COPM). A concretização desse objetivo passou pelo levantamento dos registos dos consumos e faturas dos últimos 6 anos e o tratamento dos dados de modo a permitir calcular indicadores para comparação com valores de referência e a estabelecer uma análise das variações em função das condições atmosféricas e de alterações dos sistemas e/ou do funcionamento dos sistemas.

Faz também parte dos objetivos a identificação de problemas de funcionamento dos equipamentos ou da qualidade interior das condições operativas. Visando quantificar deficiências no equipamento de condicionamento do ar ambiente é monitorizado o funcionamento de uma UTA, para os valores da temperatura na bomba desumidificadora e da potência elétrica consumida.

## **1.3. Desenvolvimento do estágio**

Este trabalho foi desenvolvido em formato de estágio curricular, numa parceria entre a Câmara Municipal de Coimbra e a Universidade de Coimbra. Teve início em final de março e terminou em junho.

Nas duas primeiras semanas do estágio foram feitas visitas aos 4 complexos de piscinas sob gestão da Câmara Municipal de Coimbra, para conhecer todas as instalações e perceber os princípios do funcionamento destes edifícios.

As duas semanas seguintes foram de enquadramento com o tema através da pesquisa bibliográfica de vários artigos científicos.

Posteriormente procedeu-se ao levantamento e tratamento dos dados recolhidos no COPM. Tendo a climatização do edifício sido identificada como aquela que merecia maior atenção, foram calculadas as perdas térmicas associadas à piscina. Dando principal atenção às perdas térmicas por evaporação, que são responsáveis pela maior parte das perdas térmicas. Para isso foram analisados os dados registados das temperaturas e humidades relativas das duas naves e efetuados cálculos para as perdas por evaporação.

Por fim foram feitas medições nas UTAs, responsáveis pela climatização da nave olímpica, de forma a caracterizar melhor o sistema de AVAC e perceber o que se podia melhorar. As medições incidiram sobre as temperaturas a montante e a jusante da bomba de calor desumidificadora e sobre a potência elétrica consumida. Era também suposto fazerem-se medições a nível do caudal de ar e da humidade relativa, o que não se concretizou devido a falta de equipamento e tempo.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Eficiência energética em complexos de piscinas**

Com o aumento de preocupação que se tem verificado com a eficiência energética, é importante estudar edifícios como complexos desportivos, que devidos as atividades praticadas no seu interior e aos elevados requisitos que apresentam para o seu funcionamento, são enormes consumidores de energia.

No guia de boas práticas criado pelo Departamento do Ambiente, Transporte e Eficiência Energética do Reino Unido (DETREE), é afirmado que complexos de piscinas interiores são diferentes de qualquer outro tipo de edifício. Contêm grandes volumes de água que deve ser constantemente filtrada, tratada e aquecida. Devido a este ambiente húmido o edifício precisa de ser projetado com a ventilação adequada. Consequentemente, complexos de piscinas consomem mais energia por unidade de área do que os outros tipos de edifícios. Por comparação com edifícios de escritórios, consomem 5 vezes mais energia por metro quadrado (DETREE,2013)

Segundo o guia de boas práticas da DETREE (2013) os consumos e custos de energia em edifícios com piscinas interiores devem apresentar uma distribuição percentual de acordo com as figuras 2.1 e 2.2.

Devido às elevadas temperaturas que são necessárias manter no interior dos edifícios, o aquecimento do espaço ocupa a maior parte dos consumos, logo seguido pelo aquecimento da água. É possível ver que, em conjunto, estes dois consumos totalizam 78% do consumo nos complexos, enquanto o consumo de energia elétrica apenas totaliza 22% do consumo total do edifício.

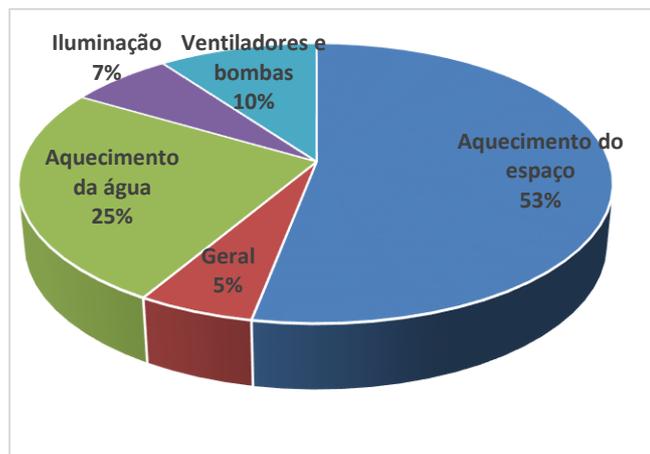


Figura 2.1 - Consumos típicos de complexos de piscinas interiores, adaptado de DETREE 2013

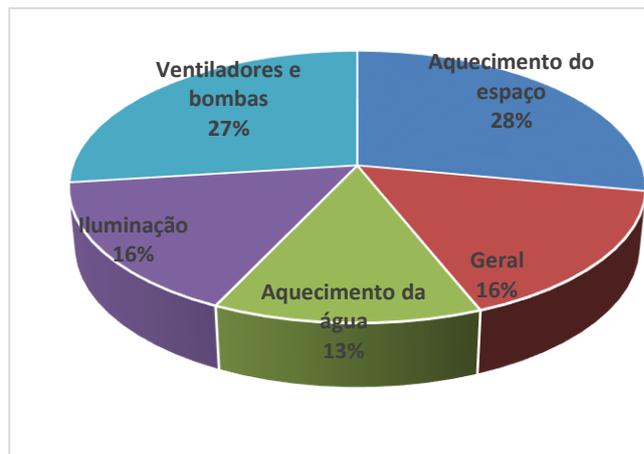


Figura 2.2 – Custos típicos de complexos com piscinas interiores, adaptados de DETREE 2013

As percentagens obtidas com os consumos não têm uma correspondência direta nos custos, sendo 59% dos custos globais atribuídos a energia elétrica e apenas 41% atribuídos aos custos de energia térmica.

Segundo o Guia da DETREE um complexo com piscinas interior é considerado ter um bom desempenho energético, se consome anualmente um valor de energia inferior a 510 kWh/m<sup>2</sup> (Tabela 2.1). Em contrapartida, um complexo que apresente consumos superiores a 745 kWh/m<sup>2</sup> já é considerado de baixa eficiência energética. Em comparação, os complexos desportivos que não têm piscinas apresentam consumos muito menores, sendo que para considerar um complexo desportivo sem piscina, com boa eficiência energética, tem de apresentar consumos de cerca de metade dos consumos apresentados por um complexo com piscinas.

Tabela 2.1 - Consumo típico anual, adaptado do guia de boas práticas (DETREE)

	Bom	Normal (kWh/m <sup>2</sup> )	Mau
<b>Complexo desportivo com piscina</b>	<510	510-745	>745
<b>Complexo desportivo sem piscina</b>	<290	290-410	>410

---

Como é afirmado por Kampel et al. (2013) num estudo intitulado “Energy-use in Norwegian swimming halls”, os complexos desportivos, ao contrário de outros tipos de edifícios, são projetados para cumprirem os requisitos exigidos por determinada atividade desportiva, com complicados sistemas técnicos, por exemplo, sistemas dedicados a manter a temperatura e qualidade da água das piscinas, sistemas de arrefecimento em ringues de patinagem, e sistemas avançados de AVAC. Os complexos desportivos são portanto melhor descritos como centrais de processamento, em vez de apenas como edifícios.

Segundo o mesmo estudo, normalmente, os custos de energia em complexos desportivos representam 30% dos custos totais, quando consideramos complexos com piscinas, estes custos crescem ainda mais. Os maiores consumidores de energia são o aquecimento da água (piscina e AQS), ventilação, aquecimento do espaço, iluminação e bombas hidráulicas.

Johansson et al. (2001) afirmam que a água das piscinas necessita de ser constantemente aquecida, de forma a conseguir ultrapassar os efeitos de arrefecimento provocados pela evaporação e para se manter a temperaturas confortáveis. Deve ser constantemente filtrada e tratada e, por isso, não é grande surpresa que as piscinas sejam grandes consumidores de energia. As naves das piscinas e os balneários devem ser normalmente mantidos a uma temperatura maior do que os outros espaços, devido aos utilizadores das piscinas estarem molhados e usarem pouca roupa. Além disso, os nadadores consomem grandes quantidades de água quente nos chuveiros, o que contribui para a elevada energia consumida no edifício.

Johansson et al, (2001) no mesmo estudo afirmam também que é possível poupar cerca de 25% dos custos totais de um complexo com piscinas, usando medidas de eficiência energética. Só implementando boas medidas de gestão energética é possível reduzir o consumo sem comprometer os serviços prestados aos utilizadores.

Em comparação, o estudo da Carbon Trust, (2006) concluiu que a fazer apenas uma melhoria na gestão da utilização de energia de 10% os complexos desportivos no Reino Unido poderiam poupar até 70 Milhões de libras esterlinas, cada ano, e reduzir as emissões de carbono em centenas de milhares de toneladas.

A Smart Energy Design Assistance Center (SEDAC) publicou um artigo intitulado “Energy Smart Tips For swimming Pools ” (2011) em que tece várias considerações sobre este assunto. As perdas de energia das piscinas variam de várias formas,

mas como está ilustrado nas figuras 2.3 e 2.4, adaptado de SEDAC (2011), a evaporação é de longe a maior fonte de perdas de energia, tanto para piscinas cobertas, como piscinas exteriores. Em piscinas cobertas apresenta 70% das perdas globais e das restantes a maior parte acontece devido à ventilação. Em piscinas exteriores a evaporação também é responsável por 70% das perdas, mas neste caso já é importante entrar em conta com a radiação que também provoca grandes perdas de energia.

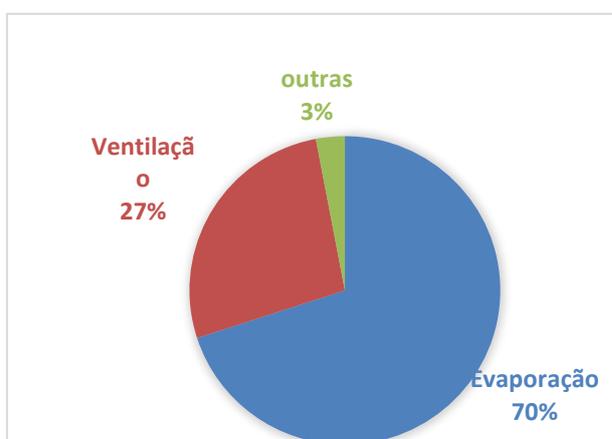


Figura 2.3 - Perdas térmicas em piscinas cobertas

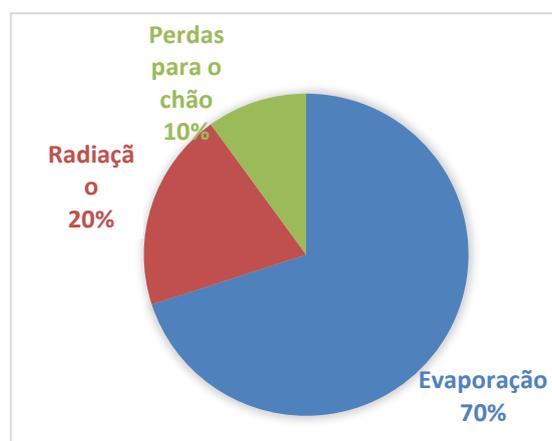


Figura 2.4 - Perdas térmicas em piscinas exteriores

Na tabela 2.2 são apresentadas as temperaturas típicas da água da piscina, tendo em conta o tipo de atividade prevista.

Tabela 2.2 - Temperaturas da água da piscina, de acordo com a atividade praticada, adaptado de Carbon trust (2006)

Atividade praticada	Temperatura (°C)
Treino e competição	25-27
Convencional	28
Mergulho	28
Laser	29
Aprendizagem	29
Hidroterapia	32-40
SPA	40

Para manter qualidade do ar interior aceitável é essencial a ventilação de piscinas interiores. O projeto destes sistemas de ventilação é portanto essencial para a eficiência

---

energética. O ASHRAE HVAC Systems and Applications Handbook (2007) recomenda 4 a 6 renovações de ar por hora (Rph) para piscinas terapêuticas e piscinas sem área de espetadores, e 6 a 8 Rph para piscinas com área de espetadores.

Segundo SEDAC (2011) durante as horas de ocupação, a ventilação de ar novo deve ser o mínimo aceite por lei e aumentada com base no número de ocupantes, e durante os períodos não ocupados a entrada de ar novo deve ser fechada.

Devido à evaporação constante que ocorre do contacto do plano de água com o ar interior, piscinas cobertas necessitam de desumidificação constante. O ASHRAE HVAC Handbook (2007) recomenda manter os níveis da humidade relativa (HR) no interior entre 40-60%. Se a humidade relativa está abaixo de 50 %, a taxa de evaporação da piscina e dos corpos humanos vai aumentar, e se a humidade relativa estiver acima de 60% pode causar problemas de degradação do edifício. É também aconselhado manter a pressão no interior da nave ligeiramente negativa, ou seja manter a nave em subpressão, para impedir o ar húmido de sair para as áreas adjacentes e espalhar os odores da piscina provocados pelo cloro.

A ventilação é importante para remover estes odores e as cloraminas, que são formadas da reação do cloro com matéria orgânica. A eliminação de cloraminas através da renovação da água da piscina tem reduzido significado. Por isso, a sua expulsão através da renovação do ar é extremamente importante, embora esta solução esbarre com o custo energético que isso pode representar, já que maiores caudais de ar fresco implicam um maior consumo de energia para o seu aquecimento (Beleza e Costa, 2007).

É ainda muito importante manter o balanço certo entre a temperatura do ar e a temperatura da água, pois esta tem um impacto direto no conforto dos utilizadores e no consumo de energia. É recomendado manter a temperatura do ar dois graus acima da temperatura da água na piscina. Elevadas temperaturas da água e baixas temperaturas no ar, podem aumentar a taxa de evaporação drasticamente e devem ser tomadas em conta quando se projeta o sistema de desumidificação para o edifício (SEDAC, 2011).

Devido às elevadas taxas de evaporação a desumidificação apresenta um papel muito importante neste tipo de edifícios. Há várias estratégias de desumidificação para controlar a atmosfera de piscinas cobertas as quais apresentam diferentes custos iniciais e custos de funcionamento. Em vez de rejeitar o calor do sistema de refrigeração para o

exterior, vários sistemas de desumidificação recuperam o calor para pré-aquecer o ar ventilado ou para aquecer a água.

Segundo o artigo da SEDAC (2011) o projeto para sistemas de ventilação para piscinas pode ser complexo e deve tomar em conta várias considerações incluindo:

- Um caudal de ar adequado sobre as superfícies do edifício para evitar problemas de condensação;
- Evitar correntes de ar para o conforto dos ocupantes e minimizar a velocidade do ar sobre a superfície da piscina para reduzir a taxa de evaporação.

Entre os vários estudos feitos em piscinas ao longo dos anos foram agregados um conjunto de medidas que permitem poupar energia neste tipo de instalações e que se encontram resumidas nos trabalhos de Almeida (2014) e Apolinário (2015) e de BRESCU, 1998; e DETREE, 2013:

- A utilização de sensores de deteção de presença nos espaços menos utilizados, como balneários e instalações sanitárias;
- Uma boa manutenção de todas as bombas hidráulicas, ventiladores e componentes que necessitem de energia elétrica, para que mantenham a sua eficiência num ponto elevado, isto sabendo que os consumos de eletricidade são menores que os consumos do gás natural mas devido ao seu custo ser bastante superior ao do gás natural acaba por resultar em custos de cerca de 60 %.
- Aplicação em todas as torneiras de água de dispositivos com ajuste automático de tempo e eventualmente de temperatura;
- Monitorização diária de todos os consumos efetuados. Desta forma é possível a prevenção de fugas, controlo de gastos supérfluos e atuar com maior rapidez;
- Controlo apertado das temperaturas da água e da nave da piscina, bem como o da humidade relativa.
- Monitorização diária do funcionamento da caldeira;

## 2.2. Estudos anteriores

Da parceria da Universidade de Coimbra com a Câmara Municipal de Coimbra vários trabalhos foram realizados nos últimos anos sobre a eficiência energética com complexos com piscinas de interior sob gestão do Município, nomeadamente os trabalhos de Almeida (2014), Apolinário (2015), Fontes (2015) e Ramos (2015).

Relativamente ao número de utentes, Apolinário (2015) num estudo feito para o Complexo de Piscinas Rui Abreu (CPRA), constatou que, em 2014, o número de utentes aumentou cerca de 10 % relativamente a 2013.

Já Fontes (2015) num estudo feito para a Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição (PMLLC) concluiu que à média diária registada entre os anos de 2013 e 2014 foi de 186 utilizadores por dia, valor que está dentro do previsto pelo regulamento interno da PMLLC para a utilização diária das piscinas, que refere que o número de utentes diário tem de ser inferior a 834 utentes para a piscina de 25 metros e os 267 utentes para o tanque de aprendizagem.

A figura 2.5 mostra os resultados obtidos por Ramos (2015) no estudo feito para o numero de utilizadores do COPM.

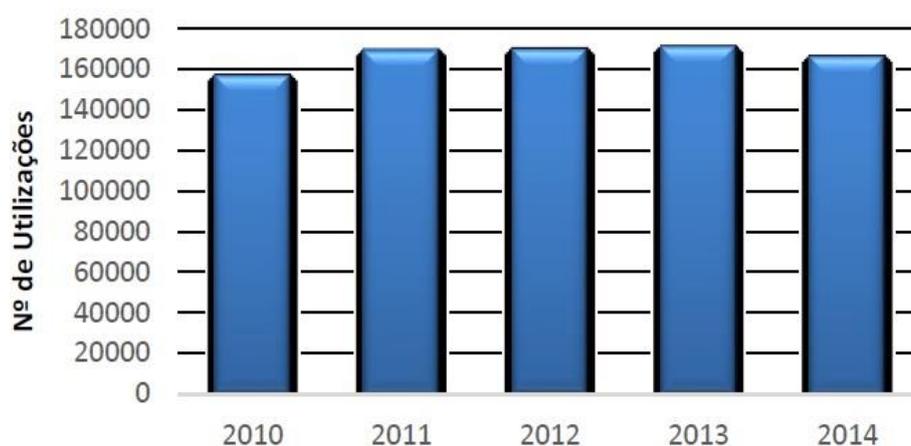


Figura 2.5 - Número de utilizadores do COPM 2010 a 2014, retirado de Ramos 2015

---

A nível de consumos, o estudo feito por Apolinário (2015) conclui que o CPRA consome anualmente 541 MWh de energia elétrica, 1058 MWh, de gás natural e 18629 m<sup>3</sup>, de água.

Deste estudo ficou a saber-se que cada utente, em média, é responsável pelo consumo de 21,25 kWh de energia (repartidos em 14,04 kWh de gás natural e 7,20 kWh de eletricidade), valor esse inferior aos 23,24 kWh encontrados por Almeida (2014) no estudo efetuado ao COPM de Coimbra.

Almeida (2014) afirma que o COPM de Coimbra apresenta valores anuais totais de consumo de energia elétrica de 1188 MWh e energia térmica de 2739 MWh. No que diz respeito ao valor médio de consumo de energia total por área obtivemos 517 kWh/m<sup>2</sup>, que revelam situar-se bem de acordo e até um pouco abaixo dos indicadores estudados previamente.

Ramos (2015) para o mesmo complexo obteve que o consumo de energia elétrica e de energia térmica (gás natural) apresenta valores anuais de 1083 MWh, e 2931 MWh, respetivamente, representando assim a energia elétrica 27 % do consumo total de energia. O consumo médio de energia por área útil total do complexo apresenta um valor de 451 kWh/m<sup>2</sup>, o que o coloca na ordem dos indicadores de referência encontrados na bibliografia.

O consumo anual total de energia elétrica obtido foi de 1083 MWh, sendo 415 MWh relativo à iluminação atual.

Ramos (2015) estudou ainda a implementação de um sistema de iluminação mais eficiente e concluiu que, com a implementação do sistema de iluminação LED em conjunto com os detetores de presença, consegue-se uma diminuição de 31,3 % dos consumos de energia elétrica inerentes ao sistema de iluminação, resultando numa redução anual de 130 MWh.

Segundo Fontes (2015) a PMLLC no ano de 2014 registou um consumo de 1072,53 MWh de GN e 526,89 MWh de eletricidade. O consumo de GN representa praticamente o dobro do consumo de energia elétrica (67 % contra 33 %). Apolinário (2015) apresentou ainda a desagregação dos consumos, feitos num estudo da ITeCons, apresentados na tabela 2.3.

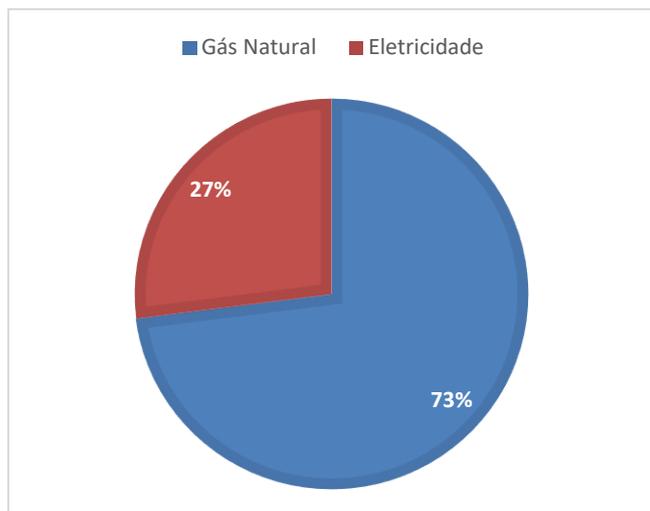


Figura 2.6 - Consumos energéticos, adaptado de Almeida 2014

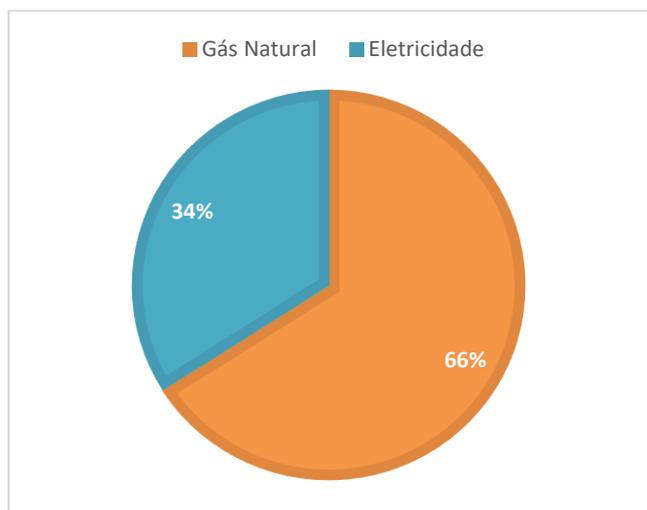


Figura 2.7 - Consumos energéticos, adaptado de Apolinário 2015

Tabela 2.3 - Desagregação dos consumos totais de energia em 3 complexos de piscinas de Coimbra (adaptado de Apolinário, 2015)

	Iluminação [%]	Outros [%]	Tratamento e aquecimento da água das piscinas [%]	Climatização [%]	AQS [%]
CPRA	11,7	1,5	49,0	24,6	13,2
COPC	10,0	1,9	25,8	52,4	9,9
CPLLC	11,1	2,3	41,8	31,9	12,9

Pode constatar-se, a partir da tabela anterior, que o tratamento e aquecimento da água das piscinas bem como a climatização são as componentes onde mais energia é consumida nos diferentes edifícios, o que vai de acordo com outros estudos já referenciados.

Nestes trabalhos foram ainda calculados os consumos específicos para a energia e para a água. Apolinário (2015) representou na tabela 2.4, os rácios calculados por utente para o CPRA. Já Ramos (2015) obteve os consumos específicos por utilizador para o COPM de Coimbra, representados na tabela 2.5.

Tabela 2.4 - Consumos e custos específicos no CPRA, adaptado de Apolinário 2015

	2013	2014
Consumo de eletricidade [kWh]/ Utente	-	7,2
Consumo de gás natural [kWh]/ Utente	15,6	14,0
Consumo de energia [kWh]/ Utente	-	21,2
Consumo de água [m3]/ Utente	0,3	0,2
Custo de eletricidade [€]/ Utente	-	1,1
Custo de gás natural [€]/ Utente	1,1	1,0
Custo de água [€]/ Utente	0,8	0,5
Custo total [€]/ Utente	-	2,6

Tabela 2.5 - Consumo específico de eletricidade e gás natural, adaptado de Ramos 2015

	Consumo específico de energia elétrica [kWh/Utilização]	Consumo específico de gás natural [kWh/Utilização]
2012	6,418	18,827
2013	6,366	17,252
2014	6,527	17,664

Em termos de despesas de energia, Apolinário (2015) afirmou que a eletricidade é a que contribui mais, com 85948 €, representando 54 % dos custos totais de energia. Ainda concluiu no seu estudo que cada utente custa ao CPRA 2,65 €.

Almeida (2014) também calculou os custos da energia, mas afirma que neste campo os valores encontrados distanciam-se daquilo que são os valores de *benchmarking*, isto é, obteve gastos com energia térmica de 55 % bastante superiores aos 41 % que seriam espectáveis.

Almeida (2014) no estudo para o COPM de Coimbra, em 2013, obteve ainda um registo em termos energéticos de 23,24 kWh/utente ao que corresponde 1,88 €/utente.

Ramos (2015) também no estudo efetuado no COPM concluiu que o custo específico total com energia e água por utilização apresenta o valor de 2,431 €/utilização no ano de 2014, notando-se um aumento significativo nestes dois anos.

Fontes (2015) ainda afirma que os custos não refletem a mesma proporção que os consumos, uma vez que a energia elétrica é responsável por 52 % dos custos totais de

energia do complexo. E obteve que o custo global de energia e de água para o CPRA, em 2014, foi de 2,88 € por cada utilizador.

Nestes estudos foram ainda calculados os vários rácios para *benchmarking*. Na Tabela 2.6, adaptada de Fontes (2015) foram apresentados os rácios por unidade de área dos custos da PMLLC.

Fontes (2015) concluiu que para a PMLLC tem um consumo de energia específico global de 2776,06 kWh/m<sup>2</sup> de superfície de piscina e de 740,14 kWh/m<sup>2</sup> de área coberta. São indicadores bastante equilibrados em comparação com os obtidos noutras piscinas.

Fontes (2015) realizou ainda um estudo sobre as perdas térmicas da piscina, nas PMLLC e obteve os resultados apresentados na tabela 2.7.

Deste estudo concluiu que as perdas térmicas devidas à evaporação e à energia necessária para aquecer a água evaporada são as mais significativas, representando um consumo de 1074 kWh por dia. A aplicação da cobertura durante o período de não funcionamento permite poupar, anualmente, 14.886 €. O período de retorno associado à colocação de uma cobertura isotérmica de espuma com enrolamento automático é de 2 anos, 8 meses e 10 dias. No entanto, embora este estudo apresente resultados promissores, para o caso que vai ser apresentado nesta tese é impossível pensar numa cobertura para a piscina, devido às suas grandes dimensões.

**Tabela 2.6 - Rácios dos custos, adaptado de Fontes 2015**

		PMLLC. Por A. piscina [m2]	Por A. coberta [m2]	Por utente
<b>Eletricidade 2014 [€]</b>	88029,81	152,79	40,74	1,30
<b>GN 2014 [€]</b>	82897,86	143,88	38,36	1,22
<b>Total energia 2014 [€]</b>	170927,67	296,67	79,10	2,52
<b>Água 2014 [€]</b>	24762,80	42,98	11,46	0,36
<b>Custo total 2014 [€]</b>	195690,47	339,65	90,56	2,88

**Tabela 2.7 - Perdas térmicas CPRA, adaptado de Fontes 215**

[kWh/dia]	Piscina 25m	T. Aprendiz.	P25 + TA
<b>Perdas térmicas por evaporação</b>	719,99	329,11	1049,10
<b>Perdas térmicas por radiação</b>	29,42	33,70	63,12
<b>Perdas térmicas por convecção</b>	16,25	18,52	34,77
<b>Perdas térmicas de adição de água (evaporada)</b>	16,72	8,21	24,93
<b>Evaporação + reposição</b>	736,71	337,33	1074,03

### 3. CASO DE ESTUDO

#### 3.1. Caracterização do edifício

O COPM de Coimbra (Figura 3.1) foi inaugurado em 21 de junho de 2005 no âmbito da iniciativa Complexo euro Stadium. O complexo dispõem de duas piscinas, uma piscina de 50 m com 10 pistas, desenhada para ser usada em alta competição e uma piscina multifunções, com 6 pistas, que é usada para uma variedade de aulas e para aprendizagem. Tem bancadas com capacidade para 670 pessoas destinadas ao público e 505 para nadadores.

O COPM tem o seu funcionamento distribuído ao longo de 5 níveis distintos, a informação de cada nível encontra-se descrita na tabela A.1 em anexo.

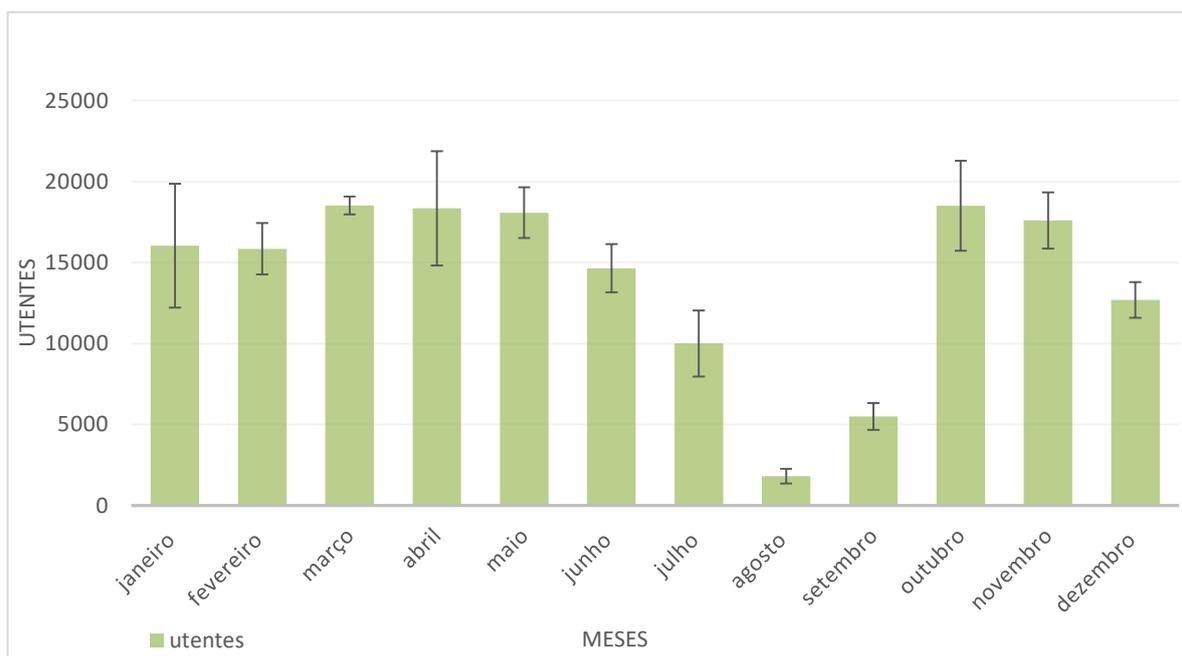


Figura 3.1 - COPM de Coimbra

## 3.2. Consumos e custos

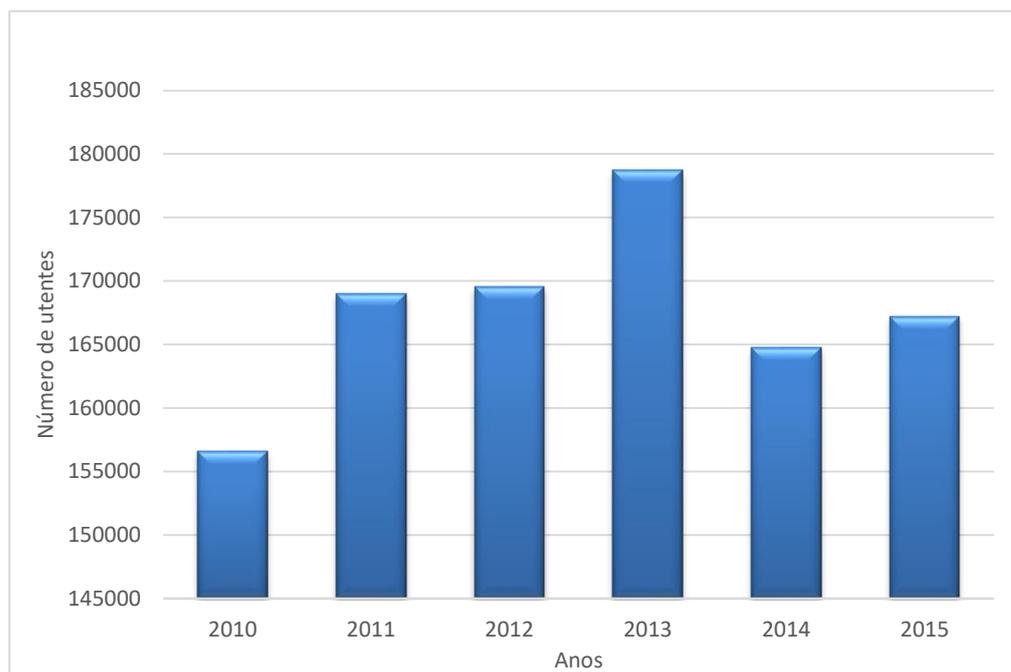
### 3.2.1. Número de utentes

Para haver uma maior compreensão do funcionamento do COPM, foi efetuado um estudo do número de utentes que frequentou as piscinas ao longo dos últimos 6 anos e que é apresentado nas figuras 3.2 e 3.3.



**Figura 3.2 - Gráfico com Número de utentes por mês, desde 2010 a 2015**

Nos meses de verão e em dezembro há uma clara diminuição do número de pessoas que frequentam o complexo. Isto deve se maioritariamente às férias escolares, visto que grande parte da população que frequenta o complexo são estudantes das escolas adjacentes. Esta diminuição é ainda maior nos meses de agosto e setembro, sendo um destes meses aproveitado para fazer a manutenção das piscinas, cuja duração envolve duas semanas.



**Figura 3.3 - Número total de utentes por ano período de 2010 a 2015**

Desde 2011, há exceção do ano de 2013, o número de utilizadores anual esteve compreendido entre 164731 e 169517, sendo que o valor mais baixo registado em 2014 e o valor mais elevado em 2012.

### 3.2.2. Consumos de água

Os consumos mensais de água do COPM nos últimos 6 anos são apresentados na Figura 3.4 Os consumos mensais de água têm de uma forma geral um valor quase idêntico de ano para ano, em particular nos últimos 3 anos. O pico mais baixo é normalmente em agosto, o que coincide com o baixo número de utentes. Em 2015 isto não se verificou porque possivelmente a manutenção foi realizada nesse mês.

Em 2010 o consumo de água era cerca do dobro do apresentado em 2015. Os consumos foram decrescendo progressivamente até ao último ano de estudo, devido às melhorias contínuas aplicadas nas instalações.

Há ainda duas situações a registar de consumo quase nulo no mês de setembro, uma em 2015 e a outra em 2014 e um valor bastante baixo em outubro. Em ambas as situações esta discrepância de dados existe porque houve uma avaria do contador.

Na tabela 3.1 são apresentados os consumos específicos calculados para a água em m<sup>3</sup> por utente.

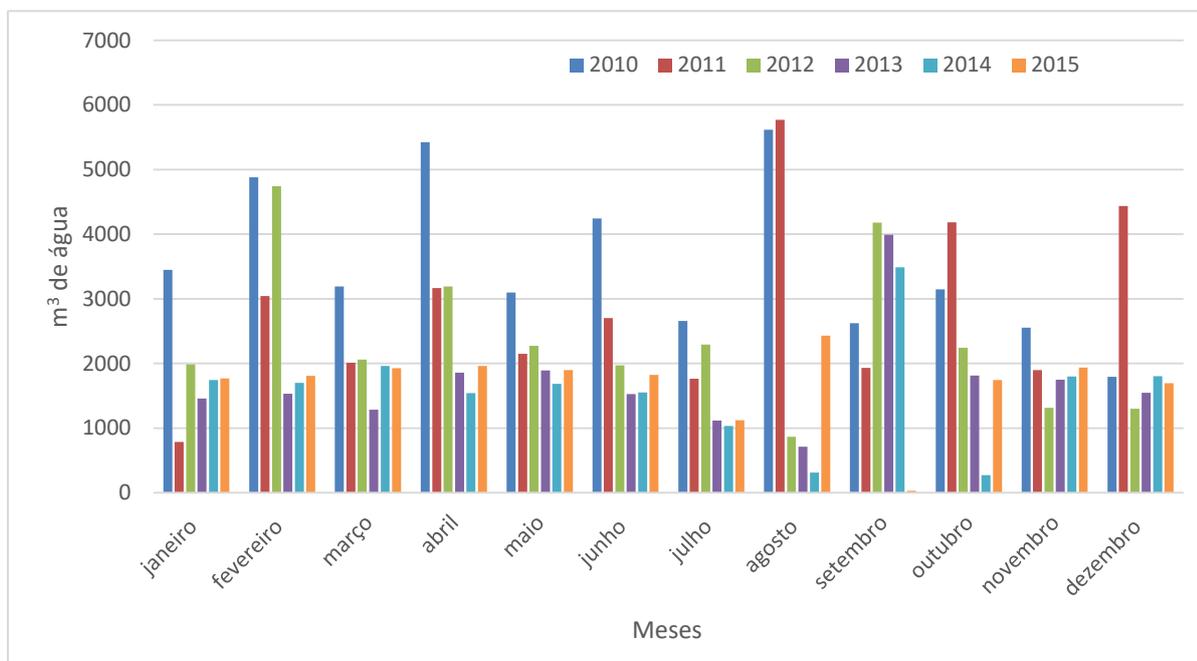


Figura 3.4 - Consumos de água ao longo do ano

Tabela 3.1 – Consumos específicos água

Consumo específico anual [m <sup>3</sup> /utente]	
2010	0.27
2011	0.20
2012	0.17
2013	0.11
2014	0.11
2015	0.12

### 3.2.3. Consumos energéticos

#### 3.2.3.1. Consumo de gás natural

O consumo de gás natural no COPM é registado em  $m^3$ , pelo que foi necessário converter esses valores para kWh para posteriormente se poder comparar os consumos de energia térmica com os consumos de energia elétrica. Esta conversão de valores foi feita utilizando o poder calorífico inferior (PCI) do gás natural ( $PCI = 38,7163 \text{ MJ}/m^3(n)$ ).

O consumo ao longo dos meses expresso em kWh encontra-se descrito na Figura 3.5. Verifica-se que o consumo é influenciado pelas estações do ano e é muito maior nos meses de inverno. No verão este valor é bastante reduzido devido à maior temperatura atmosférica e à fraca afluência de utentes nesses meses.

Não há grandes variações de ano para ano a nível dos consumos de gás natural. No entanto, é possível observar nos meses desde março a junho e também nos meses de novembro e dezembro que 2015 foi o ano em que se consumiu menos gás natural. No entanto nos meses de janeiro e fevereiro consumiu-se mais gás que nos anos anteriores.

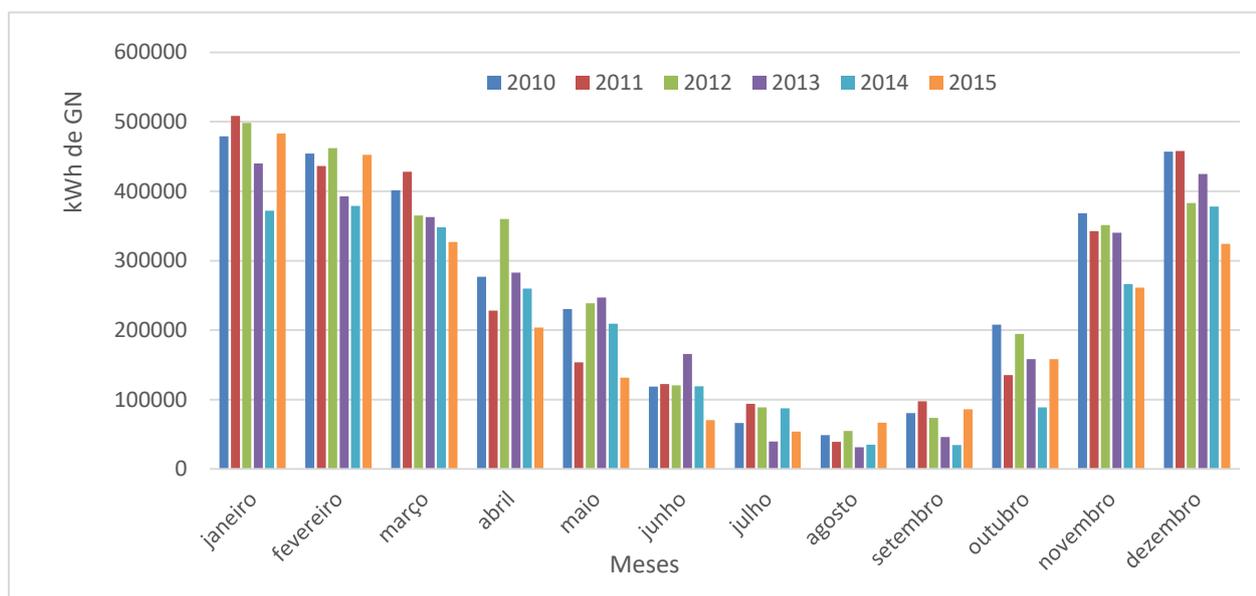


Figura 3.5 - Consumo de Gás natural por mês, período de 2010 a 2015

### 3.2.3.2. Consumos de eletricidade

O consumo elétrico no COPM é registado num quadro geral que engloba o consumo do COPM e do Pavilhão Mário Mexia. Estima-se que o consumo do COPM represente 80% da faturação total.

Através das faturas disponibilizadas relativas aos últimos quatro anos foi possível realizar uma análise relativa ao consumo anual de eletricidade no COPM, que é apresentada na figura 3.6.

O consumo distribuído ao longo dos vários meses não apresenta grandes variações, apresentando valores muito similares nos 6 anos.

Nos meses de agosto e setembro, com a diminuição de utilização das piscinas e com o aumento de luz natural por dia, nota-se uma pequena diminuição do consumo.

No ano de 2013 há um pico de consumo de energia elétrica, mas que apenas se deve a um acerto nas faturas, uma vez que o valor associado ao consumo do mês de março foi muito baixo.

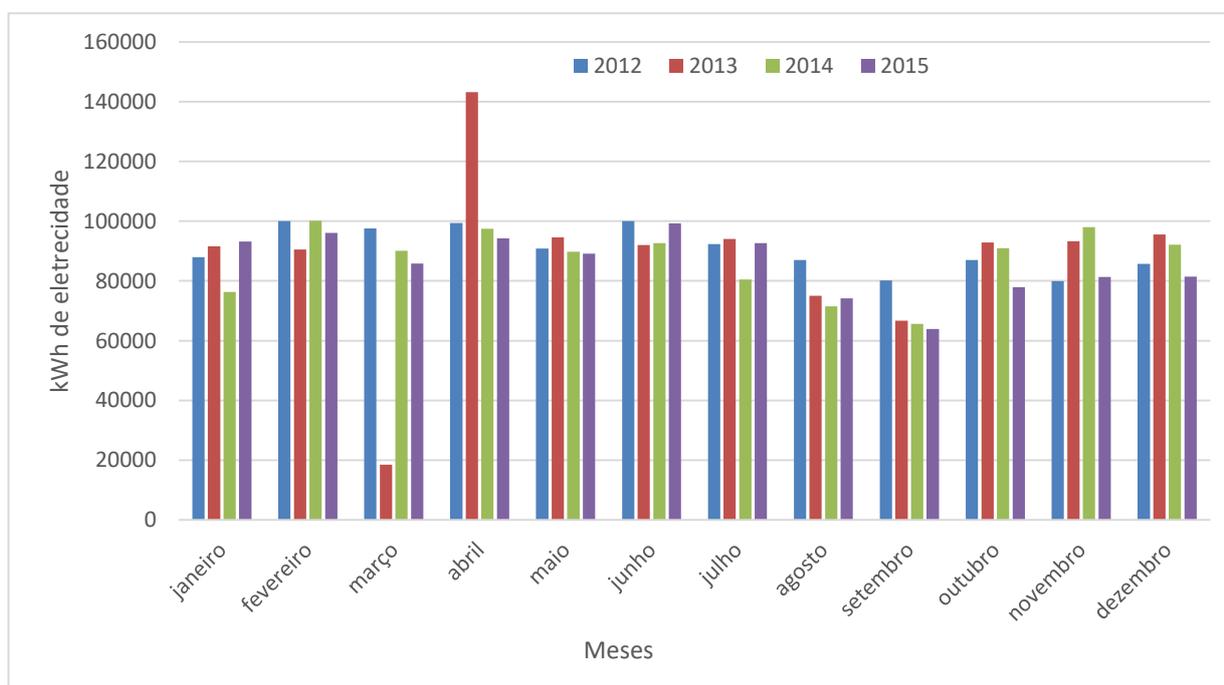


Figura 3.6- Consumo de energia elétrica por mês

### 3.2.4. Rácios dos consumos de energia por tipo e por utente

Na figura 3.7 são comparados os consumos totais anuais para gás natural e para a eletricidade.

Verifica-se que nos últimos três anos não houve grande variação a nível do consumo de energia elétrica total, que andou sempre na ordem de 1 milhão kWh.

Em termos de consumos de gás natural, já se verificam algumas variações anuais. Há um decréscimo grande desde 2012 até 2014. Contudo, não é possível afirmar que isto se deve a poupanças efetuadas, uma vez que o consumo de energia térmica é fortemente influenciado pelas temperaturas exteriores.

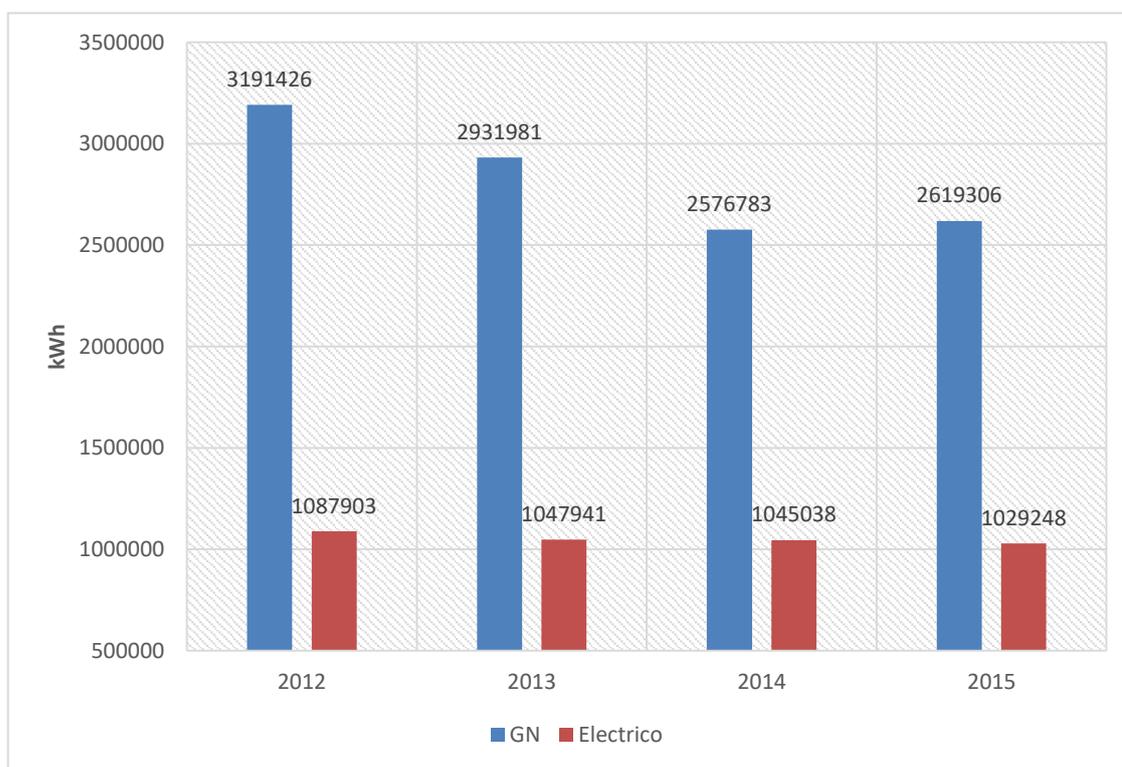
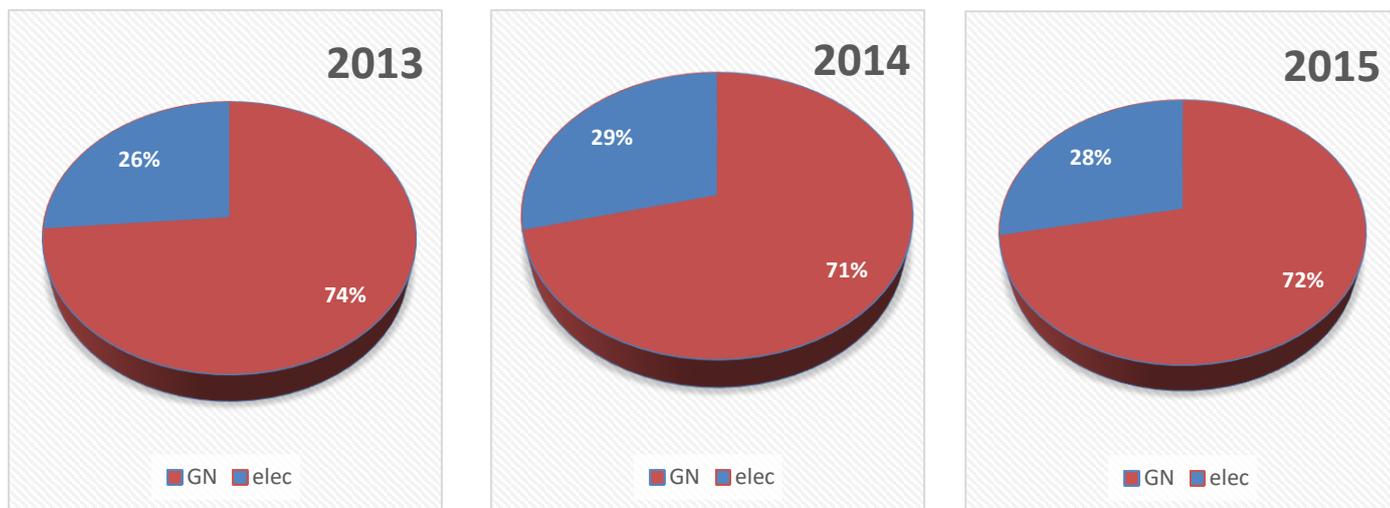


Figura 3.7 – Consumos anuais de gás natural e eletricidade ao longo dos anos

Como os dados relativos a energia térmica (gás natural) foram apresentados em kWh pode-se agora fazer uma análise comparativa com os consumos de energia elétrica, representada na Figura 3.8.



**Figura 3.8 -Distribuição dos consumos energéticos nos últimos 3 anos**

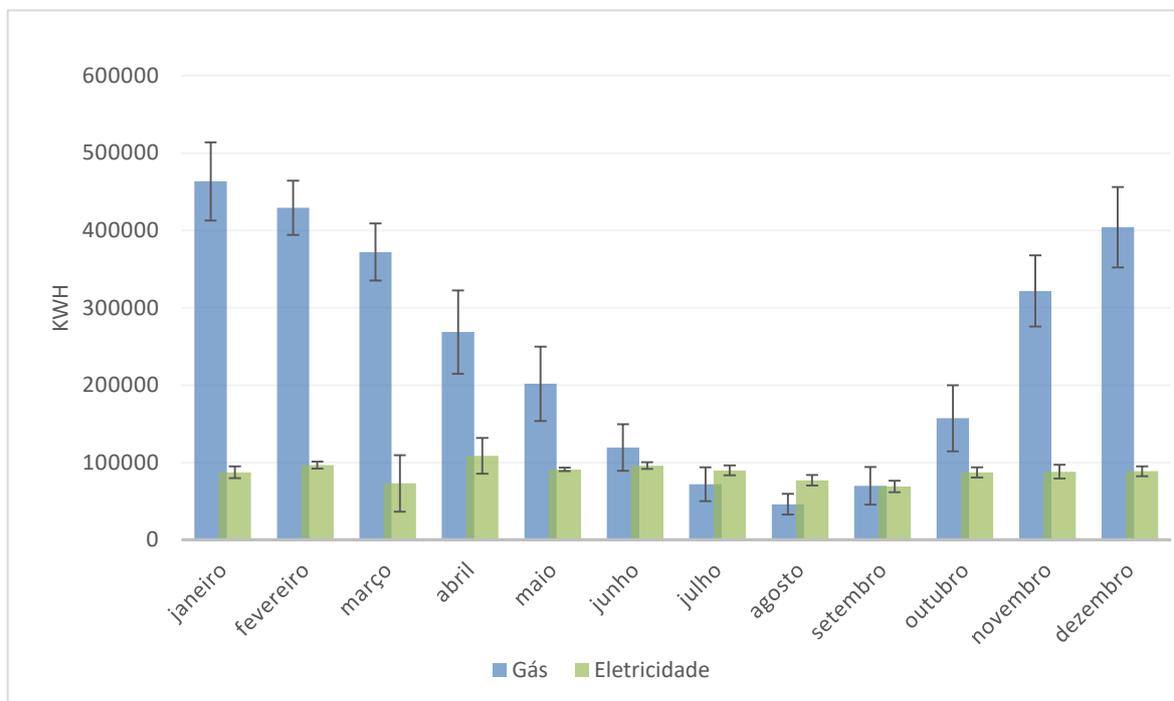
A Figura 3.8 mostra a diferença percentual entre os consumos de energia térmica e energia elétrica, para os últimos 3 anos. Através da análise dos resultados é possível verificar que o gás natural é responsável por cerca de 75 % do consumo de energia total das instalações.

Isto é justificado pela grande necessidade de aquecimento, tanto a nível das piscinas, como a nível de climatização do ar da nave.

Foram calculados os valores médios dos consumos energéticos e os valores do desvio padrão para cada mês, para assim se poder proceder a comparação da energia elétrica e da energia térmica. Os resultados são apresentados na figura 3.9.

Comparando os consumos ao longo dos meses é possível constatar que o consumo de energia elétrica é praticamente uniforme ao longo do ano e que o consumo de gás natural tem uma grande variação no verão, sendo ainda de notar que, devido a esta diminuição registada, o consumo de eletricidade nos meses de junho, julho e agosto chega a ultrapassar o consumo de energia térmica. É ainda de notar que o desvio padrão dos valores para os consumos de eletricidade é sempre muito menor do que o do desvio padrão do consumo de energia térmica, para o mesmo mês, o que indica que o consumo de energia térmica varia muito mais do que o consumo de energia elétrica. E observa-se também que os valores para os consumos variam muito menos nos meses de verão.

Na tabela 3.2 são apresentados os consumos por utente do COPM para os anos de 2010 a 2015.



**Figura 3.9 -Consumos médios de energia total por mês, com desvio padrão, para o período de 2012 a 2015**

**Tabela 3.2- Consumos específicos**

Ano	GN	Elétrica
		kWh/Utente
2010	20,37	-
2011	18,01	-
2012	18,83	6,42
2013	16,40	5,86
2014	15,60	6,34
2015	15,66	6,16

### 3.2.5. Rácios dos consumos de energia e água

Na tabela 3.3 são apresentados rácios do consumo de energia por unidade de área e na tabela 3.4 os consumos de água por unidade de área.

**Tabela 3.3 - Rácios calculados para a energia**

Consumo	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Energia térmica / área útil utentes [kWh/m <sup>2</sup> ]	495,7	473	495,9	455,6	400,4	407
Energia elétrica / área útil utentes [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	169	162,8	162,4	159,9
Energia térmica / área útil COPM [kWh/m <sup>2</sup> ]	358,1	341,6	358,2	329,1	289,2	294
Energia elétrica / área útil COPM [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	122,1	117,6	117,3	115,5
Energia térmica / área superfície piscinas [kWh/m <sup>2</sup> ]	2042	1948	2043	1877	1649	1877
Energia elétrica / área superfície piscinas [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	696,3	670,7	668,8	658,7

**Tabela 3.4 – Rácios calculados para a água**

Consumo	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Água/área útil utentes [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	6,63	5,26	4,41	3,18	2,93	3,13
Água/área útil COPM [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	4,79	3,80	3,19	2,30	2,12	2,26
Água/área superfície das piscinas [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	27,30	21,65	18,18	13,10	12,08	12,88

### 3.2.6. Custos

Com base na faturação de eletricidade e de água foram calculados os custos para cada mês do ano. As faturas de GN, não foram disponibilizadas a tempo e portanto usaram-se os consumos registados pelos funcionários no contador situado no exterior da instalação, e assumiu-se um custo unitário de 0,73 €/m<sup>3</sup>, valor aconselhado pelos engenheiros responsáveis pela instalação, como sendo um valor aproximado da média anual.

A figura 3.10 apresenta os valores obtidos para os custos da água, eletricidade e gás natural. Pela sua análise é fácil verificar que os maiores custos da instalação estão associados a energia térmica e que a instalação tem encargos muito mais elevados nos meses de inverno. É ainda de notar que na estação do verão, como a energia térmica apenas é consumida para AQS, a energia elétrica passa a ser responsável pelos maiores custos.

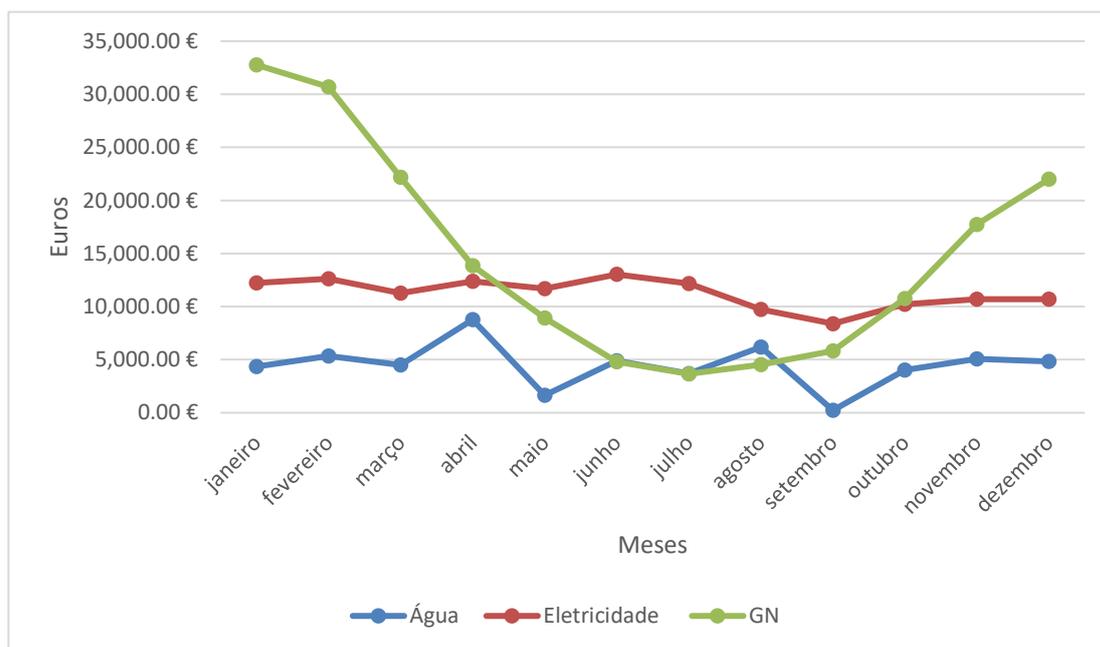


Figura 3.10 - Comparação entre os custos de energia térmica, eletricidade e água (2015)

Na tabela 3.5 estão representados os custos totais da água, eletricidade e GN. Verifica-se que os custos totais tem diminuindo nos últimos 4 anos e o custo específico por utente tem acompanhado esta tendência. No entanto, apesar do custo total da instalação em 2014 ser bastante mais baixo, mais de 20000€ abaixo do que o custo no ano de 2013, o custo

específico de 2014 foi mais elevado. Isto deve-se ao facto do ano de 2013 ter sido o ano em que a instalação registou o maior número de entradas dos últimos 6 anos, e ter havido uma diminuição bastante significativa no número de utentes no ano de 2014.

**Tabela 3.5 - custos anuais de água, energia e totais**

	<b>Água</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>GN</b>	<b>Custo total</b>	<b>Custo por utente</b>
2012	65005 €	1432723 €	190771 €	399049 €	2,35 €
2013	54589 €	139376 €	198917 €	392882 €	2,20 €
2014	57265 €	138990 €	174819 €	371074 €	2,25 €
2015	53491 €	135132 €	177709 €	366327 €	2,19 €

## 4. CALCULO DAS PERDAS TÉRMICAS NA PISCINA E ANÁLISE DO SISTEMA DE AVAC

### 4.1. Perdas térmicas

Para o cálculo das perdas térmicas por evaporação foi feito o levantamento da temperatura e humidade relativa do ar no espaço envolvente de ambas as piscinas, registadas no ano de 2015, para todos os dias do ano. De seguida foram calculadas as temperaturas médias para cada mês e para o ano. Estas temperaturas foram usadas para se obter maior fiabilidade nos cálculos que se apresentam posteriormente e para se aprimorar qual é a carga térmica necessária para aquecer efetivamente a piscina. A tabela com as temperaturas médias e com a taxa de evaporação média diária para cada mês encontram-se no Apêndice A.

Foram efetuados cálculos para as várias perdas térmicas das piscinas, respeitando o método descrito na norma Portuguesa NP 4448:2007 sobre “Aquecimento solar. Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas. Regras de dimensionamento, conceção e instalação”.

Foi ainda feita uma análise a nível psicrométrico dos vários registos de temperatura e humidade relativa no interior da nave da piscina de 50 m, uma vez que esta é a que apresenta maiores variações de temperatura e ocupa a maior parte do volume do edifício. O diagrama psicrométrico com esta análise encontra-se representado na figura 4.2.

#### 4.1.1. Perdas por evaporação

As perdas térmicas por evaporação apresentam-se como as perdas térmicas mais predominantes num complexo de piscinas cobertas. No caso em estudo foram calculadas usando as equações (1), (2) e (3), e sabendo que  $p_s = p_w$  quando ( $T_w = T_s$ ) e  $v_s=0,035$  m/s.

$$q_e = (5,64 + 5,96 v_s)(p_w - p_{enc}) \quad (1)$$

$$p_{enc} = \frac{p_s \times RH}{100} \quad (2)$$

$$p_w = 0,004516 + 0,0007178t_w - (2,649 \times 10^{-6}) T_w^2 + (6,944 \times 10^{-7}) T_w^3 \quad (3)$$

$q_e$  - Taxa perdas térmicas por evaporação [MJ/ (m<sup>2</sup>.d)];

$v_s$  - Velocidade do ar à superfície da piscina [m/s];

$p_w$ - Pressão do vapor saturado à temperatura da água da piscina,  $T_w$  [kPa];

$p_s$ - Pressão do vapor saturado à temperatura do ar,  $T_a$  [kPa];

$p_{enc}$ - Pressão do vapor saturado no ar circundante da piscina [kPa];

$T_w$ - Temperatura da água da piscina [°C];

$T_a$ -Temperatura do ar [°C];

$RH$ - Humidade relativa do ar no interior da nave;

#### 4.1.2. Perdas por radiação

Por sua vez as perdas térmicas por radiação representam uma percentagem muito mais pequena comparativamente as perdas por evaporação. Mas, mesmo assim é importante tomá-las em conta. Foram calculadas usando a equação (4).

$$q_r = \frac{24 \times 3600}{10^6} \varepsilon_w \sigma (T_w^4 - T_{enc}^4) \quad (4)$$

$\varepsilon_w$ -Representa a emitância de grande comprimento de onda da água (0.95);

$\sigma$ -Constante de Stefan-Boltzmann (igual a  $5,67 \times 10^{-8} W / (m^2 \cdot K^4)$ );

$T_w$ -Temperatura da água, em graus Kelvin;

$T_{enc}$ -Representa a temperatura das paredes do edifício envolvente do edifício para piscinas interiores [K];

#### 4.1.3. Perdas por convecção

As perdas por convecção apresentam um papel quase tão importante como as perdas por radiação e estão muito dependentes da velocidade do escoamento de ar por cima

do plano de água. Para efetuar os cálculos com a equação (5) foi considerada uma velocidade de 0,035 m/s, valor retirado da norma.

$$q_c = \frac{24 \times 3600}{10^6} (3,1 + 4,1v)(T_w - T_a) \quad (5)$$

$q_c$ -perdas térmicas por convecção [MJ/ (m<sup>2</sup>. dia)]

$v$ -representa a velocidade do vento 0,3 m acima do plano de água [m/s];

$T_w$ -temperatura da água [°C];

$T_a$ - Temperatura do ar [°C];

#### 4.1.4. Perdas por reposição

A água que é perdida por evaporação precisa de ser reposta na piscina, para que esta mantenha sempre o mesmo volume. Portanto, também é importante tomar em conta a carga térmica, que é necessária para repor a água à temperatura adequada da piscina. Para calcular esta carga térmica foi usada a equação (6).

$$q_{reposição} = m_{evap} cp (T_{reposição} - T_w) \quad (6)$$

$q_{reposição}$ - Perdas térmicas devidas a adição de água para compensação de perdas [MJ/ (m<sup>2</sup>. dia)];

$m_{evap}$  – Taxa de massa de água evaporada [kg/(m<sup>2</sup>.dia)];

$T_{reposição}$ - Temperatura da água injetada para compensar as perdas [°C];

$cp$ - Calor específico a pressão constante [MJ/(K.kg)];

$T_w$ - Temperatura da água da piscina [°C];

Para as perdas por reposição foram efetuados dois cálculos distintos para o verão e para o inverno uma vez que a temperatura da água da rede difere. Para essa temperatura foi usado o valor mais desfavorável correspondente ao período de inverno.

Os resultados dos cálculos da energia térmica necessária para aquecer a piscina encontram-se na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1- Energia térmica perdida**

kWh/dia	Condições reais		Condições de projeto		Redução
	Piscina 50m	Piscina 25 m	Piscina 50m	Piscina 25 m	
Perdas por evaporação	2889,18	810,35	2284,49	564,58	
Perdas por radiação	198,33	77,63	-173,91	-44,35	
Perdas por convecção	156,24	60,17	-136,05	-34,01	
Perdas por reposição	60,12	19,72	45,97	13,43	
Total	3303,87	967,87	2020,50	499,64	
	4271,74		2520,14		41 %

Como se pode verificar na Tabela 4.1 devido às perdas térmicas, são necessários em média 4272 kWh/dia para aquecer as piscinas do complexo. A maior parte destas perdas devem-se a evaporação nas piscinas. Nas boas práticas para complexos de piscinas, está estipulado que a temperatura do ar interior das naves devia estar 1 ou 2 ° C acima da temperatura da água da piscina. Na prática isto não acontece e a temperatura do ar acaba por ficar abaixo da temperatura da água, isto faz com que as taxas de evaporação sejam muito elevadas. Na tabela 4.2 estão representadas as temperaturas de projeto e as temperaturas reais registadas no COPM, que foram usadas nos cálculos.

**Tabela 4.2 - Valores de projeto e valores reais de temperatura**

	Valores de projeto		Valores reais		
	Tpiscina	Tar	Tpiscina	Tar	
Piscina 25m		27,00	28,00	28,30	26,54
Piscina 50m		26,00	27,00	26,38	25,23

Como se pode ver na tabela 4.2 as temperaturas do ar, na realidade, são muito inferiores as determinadas em projeto e estão ainda muito abaixo das temperaturas da água da piscina. Por sua vez a temperatura da água encontra-se acima da temperatura de projeto o que contribui para aumentar ainda mais a taxa de evaporação.

Foram ainda efetuados cálculos para a taxa de evaporação caso fossem aplicadas as temperaturas de projeto para a água da piscina e para a temperatura do ar interior, e

concluiu-se que se estas temperaturas de projeto fossem aplicadas, só seriam necessários 2520 kWh diários para aquecer as piscinas em vez dos 4272 kWh. Ou seja, podia existir uma poupança de cerca de 40% da energia gasta no aquecimento da piscina.

Nesta poupança foi ainda tomado em conta o valor poupado nas perdas por reposição de água uma vez que, está dependente da taxa de evaporação.

E uma vez que a temperatura do ar é superior à da água as perdas por convecção e por radiação transformaram-se em ganhos para a piscina, o que contribui para a poupança de energia.

Foram marcados no diagrama as medições para todos os dias do ano e comparadas com as zonas de conforto assumidas em projeto. Sendo a zona azul a zona de conforto para o inverno e a vermelha a zona de conforto para o verão.

Foram consideradas as características em projeto apresentadas na Tabela 4.3

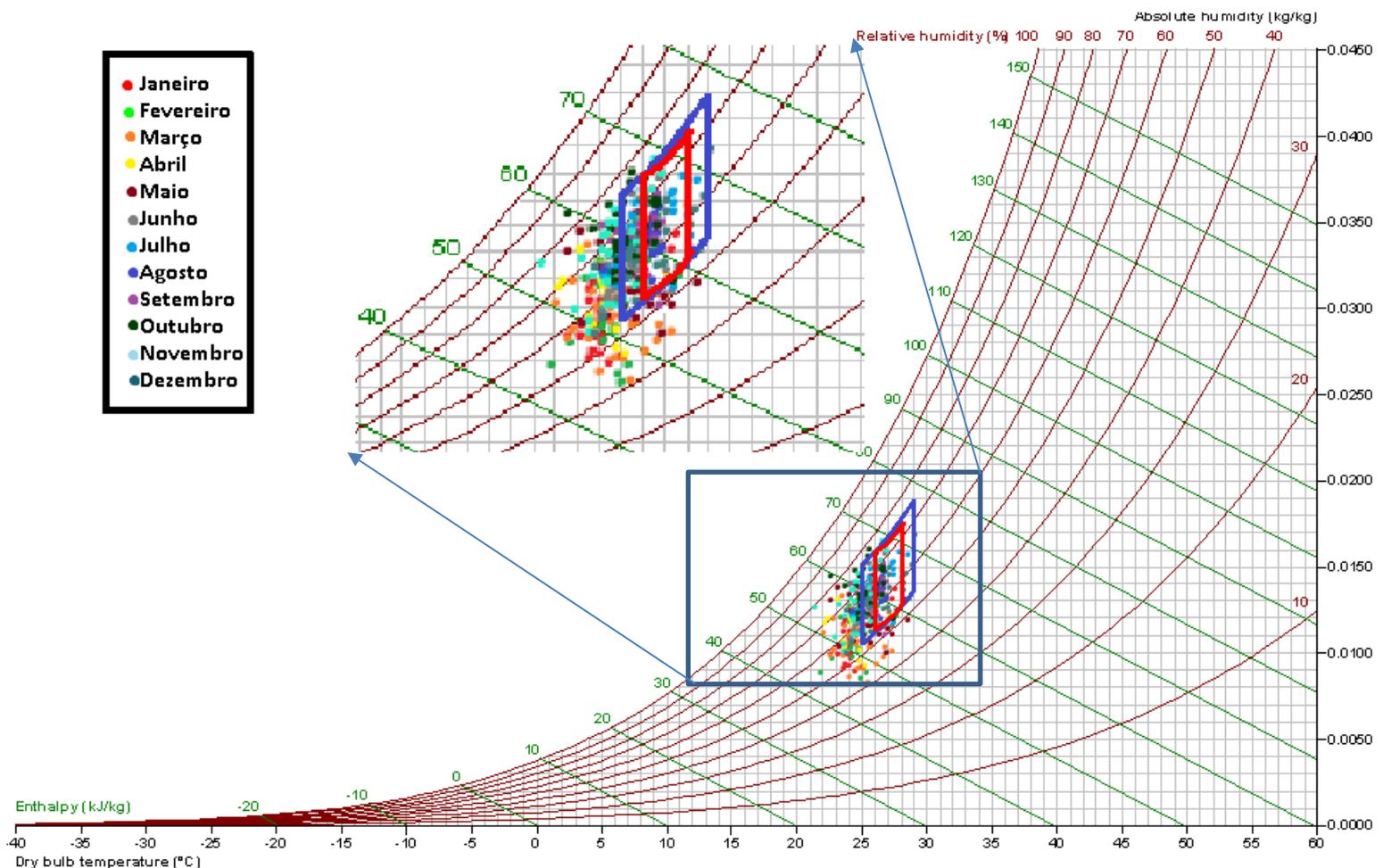


Figura 4.1 - Diagrama psicrométrico

**Tabela 4.3 - Dados considerados em projeto para temperatura e humidade relativa**

	Temperatura [ °C]	Humidade relativa [%]
Verão	27 ± 1	65 ± 10
Inverno	27 ± 2	65 ± 10

Por análise do gráfico facilmente se percebe que são muito poucos os pontos que estão efetivamente dentro da zona de conforto projetada. A zona de inverno como é maior tem mais pontos concentrados no seu interior, mas mesmo assim é possível ver que existem muitos pontos à esquerda desta zona, o que significa que as temperaturas da nave são muito baixas, mesmo para esta altura do ano.

Também se verifica que a humidade relativa é muito mais fácil de controlar dentro da nave do que a temperatura, quase todos os pontos apresentam a humidade relativa dentro do intervalo desejado, 55 a 75 % de humidade relativa. No entanto há ainda alguns dias do ano em que isto não se verificou, e foram medidas humidades do ar muito baixas.

## 4.2. Análise do sistema de AVAC

O COPM está equipado com 4 UTAs, 3 das quais se situam na zona técnica do piso 5 (representadas no Anexo B) e a UTA P4 está situada na zona técnica do piso 1. As UTAs do piso 5 são responsáveis por manter as condições de qualidade de ar na nave da piscina olímpica, enquanto a UTA P4, situada no piso 1, é responsável pela piscina de 25 m. As suas características estão descritas nas tabelas do Anexo B.

As UTAs P1, P2 e P4 estão equipadas com uma bomba de calor desumidificadora que permite a desumidificação através do arrefecimento do ar e depois é feito um reaproveitamento do calor por um condensador que pré-aquece o ar, como se pode ver na figura 4.2.

O arrefecimento é conseguido através de um sistema de expansão direta, com compressores. Cada unidade tem 3 compressores, estes compressores arrancam em cascata, sendo que o 3º compressor serve para dissipar o calor para a piscina, e só é acionado quando a temperatura do ar está muito elevada. Este circuito de dissipação não está de momento em funcionamento nas UTAs do piso 5 devido a um tubo que colapsou, estando apenas a

funcionar na UTA P4. Os responsáveis pela instalação tomaram a decisão de não reparar o sistema pois ele só dissipava para a piscina durante o verão e nesta altura não é necessário fornecer mais calor para a piscina.

No verão, o aquecimento destas UTAs é assegurado pelo reaproveitamento do calor no condensador, e tem ainda a montante uma bateria de apoio ao aquecimento, que entra em funcionamento quando o condensador não consegue fornecer o calor necessário ao ar para atingir a temperatura desejada.

Existe ainda uma caixa de mistura com registos que controla a quantidade de ar novo a insuflar, através das sondas de temperatura e humidade relativa do ar, situadas na entrada e saída do equipamento.

A UTA P3 é na verdade uma UTAN na sua configuração, no entanto o seu funcionamento foi alterado para que em vez de ir buscar ar novo ao exterior vá buscar ar a nave e volte a insuflá-lo.

Esta UTA apenas tem capacidade de recirculação e aquecimento, por via de uma bateria de aquecimento a água. Ou seja, não tem qualquer capacidade de arrefecimento ou desumidificação.

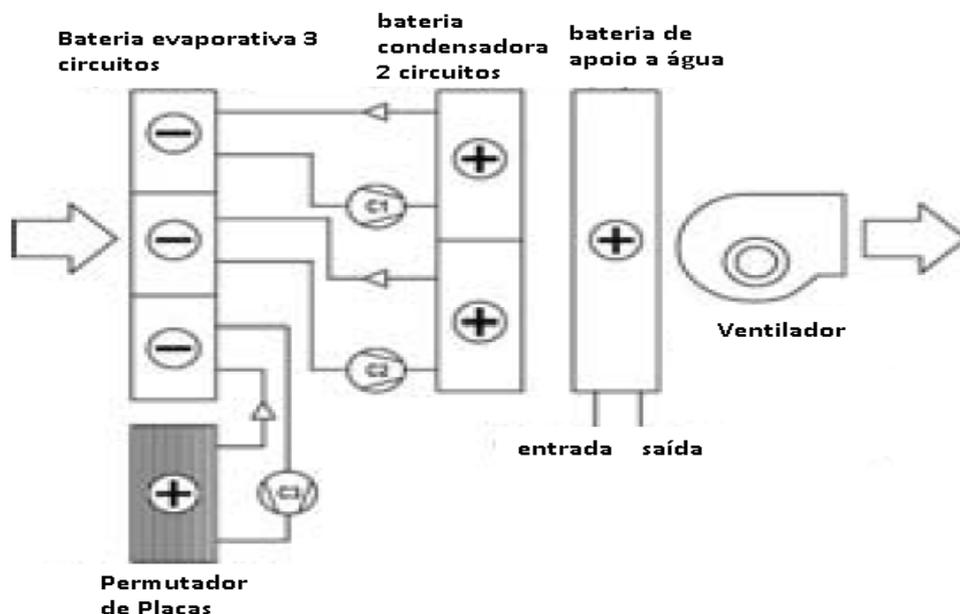


Figura 4.2 - esquema da bomba desumidificadora das UTAs do COPM, adaptado CIATESA BCP de 2011

#### **4.2.1. Medições de temperatura e potência elétrica**

Para obter cálculos mais fiáveis no estudo da unidade de tratamento de ar foram efetuadas medições numa das UTAs responsáveis pelo tratamento de ar da nave da piscina olímpica.

Apenas por uma questão de acessibilidade, e visto que ambas as UTA's P1 e P2 são idênticas, foi decidido fazer as medições na UTA-P2. Foi ainda decidido que seriam feitas medições da potência elétrica consumida utilizando um analisador elétrico, e que seriam feitas medições de temperatura no evaporador e no condensador da UTA para saber as temperaturas antes e depois da bomba de calor desumidificadora usando termopares tipo K e um Pico Analog de 8 canais. Ambas as medições tiveram a duração de uma semana, sendo que foram iniciadas numa sexta ao início da manhã e que os equipamentos foram levantados na quinta-feira da semana seguinte ao fim da tarde.

Foram ponderadas várias hipóteses ao longo do processo de instalação do equipamento para as medições de temperatura na UTA-P2.

Na primeira hipótese ponderou-se usar 9 termopares, 3 por cada bateria, mas visto que o Pico Analog disponibilizado só tinha capacidade para 8 termopares em simultâneo foi necessário rever o plano inicial. Verificou-se ainda que a bateria de água quente, que funciona como bateria de apoio, estava desativada pois não é necessária durante o verão, pelo que se optou por não colocar termopares nesta bateria.

Foi então elaborada uma segunda hipótese em que seriam utilizados 3 termopares por bateria, mas como foi descartada a bateria de apoio, só seriam necessários 6 termopares. Esta hipótese foi também excluída porque, após começar a instalação, se verificou que, ao contrário do que se pensava, o evaporador e o condensador não eram duas baterias separadas, mas sim que estavam num único bloco selado, por chapa, no topo e nos lados. Ou seja, só era possível aceder à superfície de entrada do evaporador e à de saída do condensador.

Sendo ainda que a superfície do condensador era de muito difícil acesso, e como tal só foi possível introduzir dois termopares no condensador. Para obter o mesmo número

de dados foram também utilizados dois termopares no evaporador, e portanto foram utilizados apenas 4 termopares no total.

A instalação final consistiu em 4 termopares afixados com fita de alumínio para suportar as temperaturas do condensador. Os termopares foram ligados a um Pico Analog Tc-08 que, por sua vez, foi ligado a um computador portátil, com o *software* Picolog, para permitir ler e armazenar os dados. Com este mesmo *software* foi possível configurar o Pico e escolher o intervalo de armazenamento dos dados.

As UTA's são sistemas de climatização que tem na sua composição ventiladores, motores elétricos e ainda compressores. Todos estes componentes tem elevados consumos elétricos, torna-se por isso importante fazer uma análise do comportamento destes sistemas, em termos de consumo de energia elétrica.

Foi utilizado um analisador de energia da marca Chauvin Arnoux, modelo PEL-103, cedido pela Universidade de Coimbra. Este analisador foi instalado no quadro elétrico da zona 5, que é responsável por servir todas as UTA's deste piso, a UTAN, as VRVs e as bombas de circulação de água quente. O sistema foi instalado no quadro responsável pela UTA-P2.

Este tipo de equipamento permite obter dados relativos à tensão, intensidade de corrente, potência elétrica e consumo. Devido a um erro na montagem do equipamento, foi montado com a ordem das fases trocadas, os valores das potências que se obtiveram estavam errados em duas das fases. No entanto, como os dados da intensidade de corrente que se obtiveram estavam corretos, foram utilizados para calcular os valores da potência, através das equações (7) e (8). Nos cálculos, foram usados os dados registados para a intensidade de corrente, enquanto que para o valor de diferença de potencial, devido a variar muito pouco, entre 230 a 235 V, foi considerado o valor constante de 230 V, e para o fator de potência foi considerado o valor de 0,9, que é o valor típico para este tipo de equipamentos.

$$P_{fase} = V * I * FP \quad (7)$$

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (8)$$

### 4.2.2. Resultados obtidos

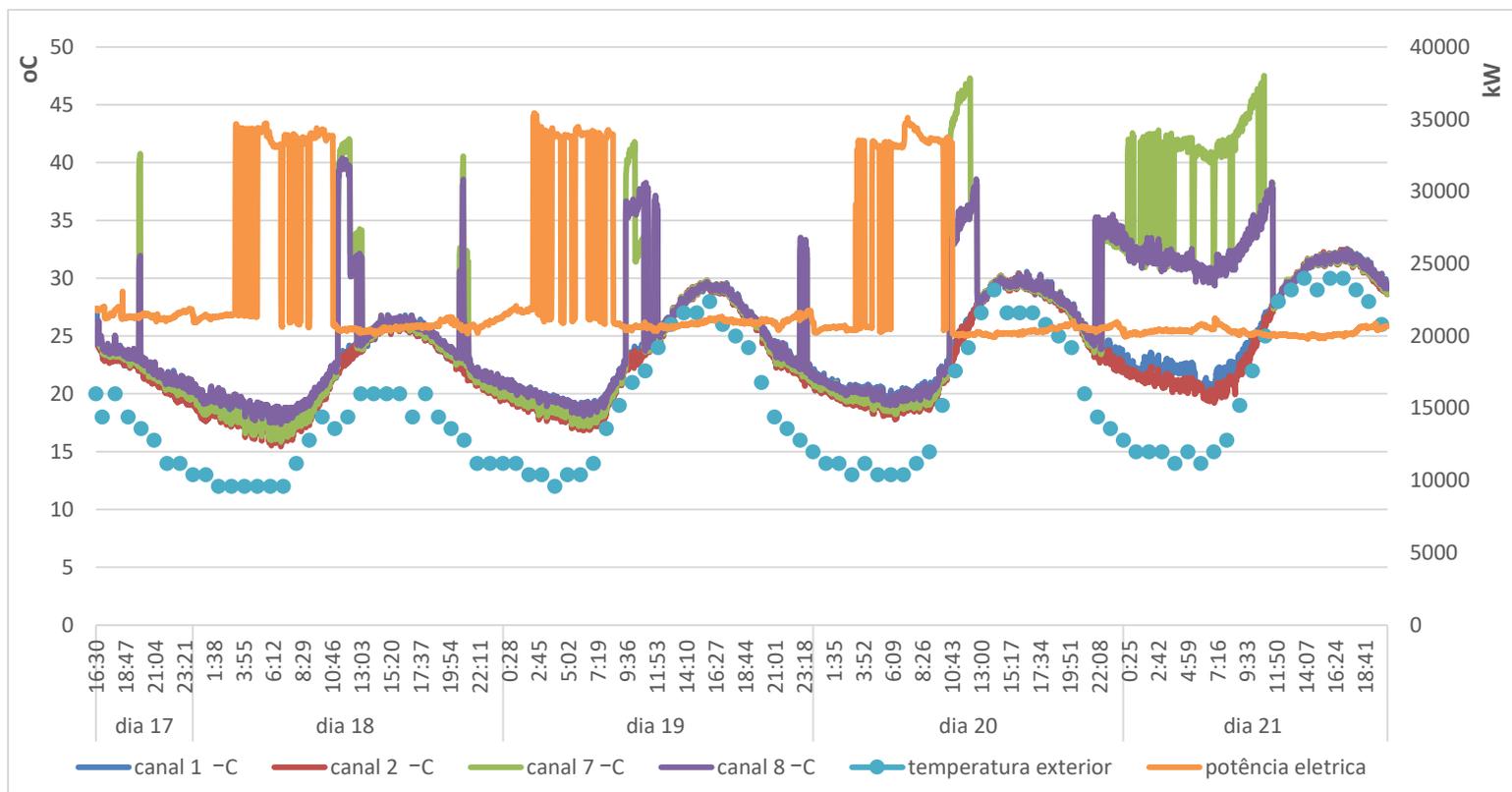


Figura 4.3 - medições efetuadas e temperatura exterior nos dias 17 a 21 de junho

Para analisar os resultados obtidos com as condições na nave da piscina foram recolhidos dados relativos à temperatura e humidade relativa do ar exterior, para os dias em que as medições foram efetuadas (Apêndice D). Os dados da temperatura do ar exterior foram comparados com os resultados das medições, da temperatura recolhida no interior da UTA.

É possível verificar que o gráfico descrito pelos valores obtidos no evaporador e no condensador têm um comportamento muito similar ao comportamento do gráfico descrito pelas temperaturas exteriores, sendo que nas alturas de maior calor chegam quase a coincidir. Concluiu-se portanto que na maior parte do tempo a UTA esta a efetuar *freecooling*.

Estando os canais 1 e 2 do Picolog ligados a termopares instalados na superfície de entrada do evaporador seria de se esperar temperaturas mais baixas, visto que a superfície

do evaporador chegaria facilmente a valores como 7 °C. Isto não se verifica no gráfico e, o que leva a concluir que os termopares apenas assimilaram os valores da temperatura do ar à entrada do evaporador, e não o valor da temperatura na sua superfície. Para obter os valores desejados, os termopares deviam ter sido instalados na superfície de saída do evaporador, o que se verificou impossível devido à constituição da bomba desumidificadora ser um bloco fechado.

Já os canais 7 e 8 do Picolog registaram os valores do ar à saída do condensador e é possível verificar que há picos na temperatura máxima em várias alturas da semana.

Em análise conjunta com o gráfico da potência, verifica-se que estes picos são quase sempre precedidos por picos de potência elétrica, o que leva a concluir que estes picos ocorrem quando a máquina se encontra a desumidificar e que os picos de potência elétrica são devidos a entrada em funcionamento dos compressores.

Nota-se ainda que as temperaturas máximas são sempre registadas na mesma altura entre as 10 e as 11 horas da manhã, enquanto que os registos de potência máxima se verificam durante a noite, normalmente entre as 3 e as 10 horas da manhã, o que pode apresentar um benefício uma vez que grande parte do trabalho dos compressores é realizado durante o período de tarifário elétrico mais baixo.



## 5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

Da análise dos resultados da utilização, consumos e custos de energia e água no COPM nos últimos 6 anos conclui-se que:

- O número de utentes em 2015 aumentou cerca de 1,5 % relativamente a 2014, e 7% relativamente a 2010. O maior número de utilizadores foi atingido em 2013 com 178721;

- O consumo específico de água por utentes decresceu de 270 L/utente em 2010 para 120 L/utente em 2015. Isto representa uma diminuição nos consumos de água, impressionante, de mais de 50 % em apenas 5 anos;

- O consumo energético específico por utente em 2015 foi de 21,82 kWh (desagregado em 15,66 kWh de energia térmica e 6,16 kWh de energia elétrica). Que em relação a 2010 representa uma diminuição de aproximadamente 23 %, no consumo específico de energia térmica e uma diminuição de cerca de 4 % na energia elétrica relativamente a 2012;

- Os custos tem vindo a diminuir progressivamente ao longo dos últimos 4 anos. Apesar das variações no número de utentes o valor do custo específico tem apresentado uma diminuição quase constante, atingindo em 2015 uma redução percentual de 6,9% relativamente a 2012. Constatou-se também que o custo por utente em qualquer dos anos foi inferior ao preço de entrada, 2,5€. Isto prova que o valor cobrado com as entradas do público, chega para cobrir as despesas dos consumos com água e energia. No entanto, se pensarmos que ainda falta contabilizar as despesas com o pessoal e manutenção, facilmente se percebe que o edifício não é autossuficiente economicamente.

Através da análise psicrométrica efetuada e os cálculos das perdas térmicas por evaporação foi concluído que tanto a temperatura como a humidade relativa do ar, dentro das naves das duas piscinas, se encontram muitas vezes fora dos limites estipulados em projeto e das áreas de conforto.

Foi concluído que apesar de humidade relativa do ar apresentar a maior parte das vezes os valores recomendados, mesmo assim existem vários dias do ano em que está ligeiramente abaixo do que devia, o que pode provocar desconforto aos utilizadores e aumentar a taxa evaporativa. Por sua vez, a temperatura do ar está constantemente abaixo da temperatura da água. Isto acontece por decisão dos responsáveis do complexo, uma vez que os nadadores se queixam muitas vezes de o ar estar demasiado quente. No entanto, com os cálculos efetuados conclui-se que se poderia poupar cerca de 40% do consumo de energia térmica utilizada para aquecer a água da piscina se fossem alteradas as temperaturas para os valores de projeto. Seria obtido um gasto de 2520 kWh/dia em vez do atual de 4272 kWh/dia. Pelo que é aconselhado aos responsáveis da piscina a implementação de medidas para aumentar gradualmente a temperatura do ar até ao limite que evite causar desconforto aos nadadores. Outra medida que também pode ser aconselhada, seria fazer um mês de teste em que se mudasse as temperaturas para os valores de projeto e fazer um conjunto de inquéritos aos utilizadores das instalações para medir o seu nível de conforto.

Em primeira estância foi determinado que a análise do sistema de AVAC iria ser mais pormenorizada, fazendo-se também medições de caudal, humidade relativa e temperatura do ar. Esta análise detalhada acabou por ser comprometidas devido a alguns problemas técnicos e de tempo. As medições de caudal seriam feitas com um anemómetro cedido pela faculdade, mas este danificou-se antes do início previsto para as medições. Por sua vez as medições de humidade relativa do ar, foram impossibilitadas por falta de equipamento, uma vez que os equipamentos que a universidade possui são mais adequados para espaços abertos, como salas e não para estar dentro de equipamentos como UTA's, onde se podiam danificar.

As medições de temperatura deviam ter sido feitas com vários termopares quer nas entradas das baterias como nas saídas, mas isto foi impossível pelo facto da saída do evaporador e a entrada do condensador estarem seladas. Para estudar esta parte do equipamento seria necessário retirar a chapa que estava a unir as duas baterias o que poderia danificar o equipamento e ser prejudicial para o funcionamento da mesma, permitindo que existissem fugas de ar entre o evaporador e o condensador. Por este motivo não é possível tirar uma conclusão definitiva quanto a este equipamento. No entanto, com as medições efetuadas já é possível tirar algumas considerações. Foi possível concluir que o equipamento

funciona a maior parte do seu tempo em *freecooling*, notando-se ainda que o equipamento mantém este funcionamento também durante a noite. No entanto, como foi retirado do guia de boas práticas para complexos desportivos da DETREE, o caudal de ar novo durante as horas desocupadas deve ser o menor possível. Conclui-se então que o equipamento durante a noite devia funcionar maioritariamente a recircular o ar da nave. Conclui-se ainda que as temperaturas do ar à saída do condensador são por vezes demasiado elevadas, quando a máquina se encontra a desumidificar, sendo portanto, importante visitar a ideia de restaurar o circuito de dissipação para a piscina que funcionava com o terceiro compressor. Por fim foi ainda possível concluir que os compressores funcionam maioritariamente durante as horas de vazio e super vazio, o que se torna muito vantajoso em termos de custos.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se referir a necessidade de efetuar uma análise ao sistema de AQS. Em todos os estudos efetuados anteriormente, sempre que foram calculados os valores dos consumos em AQS, foram sempre feitas suposições quanto ao consumo por cada banho. Estes valores podem apresentar erros, pois nem todos os utentes usam os chuveiros e nem todos demoram o mesmo tempo. Um estudo deste tipo seria necessário para se obter valores mais realistas para estes consumos.

Para ser possível aferir com precisão a quantidade de energia térmica que é gasta no sistema de AQS, na piscina e nas baterias de aquecimento das UTA's seria necessário fazer uma análise com caudalímetro nas tubagens a seguir ao coletor de ida. Um estudo nesta área permitiria possivelmente reduzir os consumos, uma vez que há varias medidas que podem ser tomadas nesta área, para aumentar a eficiência energética. Como por exemplo instalar cabeças de chuveiro de caudal reduzido e instalar torneiras com temporizador.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, B. (2014). *Eficiência Energética em Complexos Desportivos : Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Apolinário, J. (2015). *Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores : Complexo de Piscinas Rui Abreu*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

ASHRAE STANDARD. (2007) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 8400. Acedido a 12 de setembro de 2016  
<http://www.mintie.com/assets/pdf/education/ASHRAE%2062.1-2007.pdf>

Beleza, V. M., & Costa, R. M. S. S. (2007). Renovação do Ar e da Água em Piscinas Cobertas : sua Correlação, 1–8.

BRESCU. (1998). Energy Consumption Guide 78 - Energy use in sports and recreation buildings. Acedido a 12 de setembro de 2016  
<http://www.cibse.org/getmedia/34def23a-c65b-405e-9dff-ce181c0b1e0d/ECG78-Energy-Use-in-Sports-and-Recreation-Buildings.pdf.aspx>

DETREE. (2013). Good Practice Guide 219 - Energy efficiency in swimming pools. Acedido a 12 de setembro de 2016 <http://www.cibse.org/getmedia/f36a292c-8eea-4610-b764-e23774a52cb9/GPG219-Energy-Efficiency-in-Swimming-Pools.pdf.aspx>

Fontes, A. (2015). *Eficiência energética em complexos de piscinas interiores : caso da Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição*. Tese de Mestrado em Engenharia

Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Johansson, L., & Westerlund, L. (2001). Energy savings in indoor swimming-pools : comparison between different heat-recovery systems, *70*, 281–303.

Kampel, W., Aas, B., & Bruland, A. (2013). Energy-use in Norwegian swimming halls. *Energy & Buildings*, *59*, 181–186. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.011>

NP4448 (2007). " Norma Portuguesa - Aquecimento solar Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas Regras de dimensionamento, concepção e instalação." Instituto português da qualidade, Ministério da Economia e do Emprego. Caparica

Ramos, A. (2015). *Eficiência energética em complexos de piscinas interiores : Medidas de eficiência energética e análise económica ao sistema de iluminação do COPMC*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente na especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

SEDAC. (2011). Energy smart tips for swimming pools. Acedido a 12 de setembro de 2016

<http://smartenergy.arch.uiuc.edu/pdf/Pool%20Niche%20Market%20Report%20FINAL%20-%2005.02.2011.pdf>

Trust, Carbon. (2006). Sector Overview - Sports and leisure Introducing energy saving opportunities for business. Acedido a 12 de setembro de 2016

[https://www.carbontrust.com/media/39352/ctv006\\_sports\\_and\\_leisure\\_sector\\_overview.pdf](https://www.carbontrust.com/media/39352/ctv006_sports_and_leisure_sector_overview.pdf)

## ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

A tabela A.1 foi feita com base nas plantas da instalação, foram levantadas todas as áreas dos 5 níveis de funcionamento.

Tabela A.1 - Áreas bruta e útil dos níveis do Complexo

Nível	Área bruta (m <sup>2</sup> )	Área utilizável (m <sup>2</sup> )
Nível 5	799	650
Nível 4	841	552
Nível 3	1085	977
Nível 2	5222	4906
Nível 1	1912	1824

Na tabela A.2, descreve os vários níveis do COPM e a sua tipologia, foi adaptada de Ramos (2015) e foi ainda complementada com as informações cedidas pelos responsáveis da instalação.

**Tabela A.2 - caracterização dos níveis do edifício**

<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
Nível 5	Encontra-se na sua maioria atribuído a área técnica designada para o aquecimento, é onde se encontram as UTAS, UTANS e caldeiras. Neste nível existem ainda as bancadas do público e as suas respetivas circulações
Nível 4	Entrada para o público e receção, gabinetes de secretariado e direção, sala de espera e zona de observação (piscina 50m), sala de controlo, instalações sanitárias, circulação e bancadas do público.
Nível 3	Átrio, zona de observação (piscina 25m), instalações sanitárias publicas, corredores de circulação, bancadas VIP e para atletas, gabinetes e sala de reuniões.
Nível 2	Piscina olímpica e piscina de formação, respetivos cais, balneários, salas de apoio, gabinete médico, ginásio, arrecadações e corredores de circulação.
Nível 1	Encontra-se abaixo do nível das piscinas e é ocupado na sua maioria com a área técnica, com as máquinas necessária para o bom funcionamento das piscinas. Tanques de compensação, termoacumuladores, bombas de circulação, bombas doseadoras, filtros e ultra violetas e permutadores. Arrecadações

As tabelas A.3 e A.4 descrevem as dimensões, áreas e volumes respetivamente das piscinas e das naves das piscinas. Foram feitas com base nas plantas e com a informação fornecida pelos funcionários do COPM.

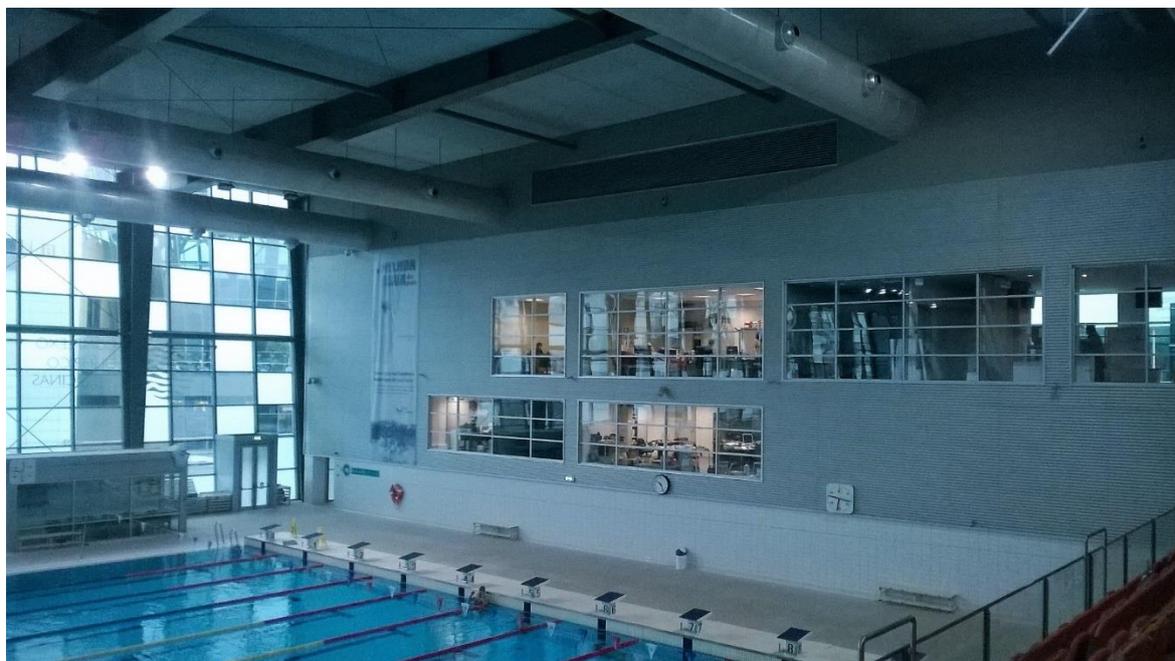
**Tabela A. 3 - caraterísticas das piscinas do Complexo Olímpico**

<b>Caraterísticas</b>	<b>Piscina olímpica</b>	<b>Piscina formação</b>
<b>Dimensões (m)</b>	50x25	25x12,5
<b>Área do plano de água (m2)</b>	1250	312,5
<b>Profundidade mínima (m)</b>	2	1,2
<b>Profundidade máxima (m)</b>	2,25	1,8
<b>Profundidade media (m)</b>	2,125	1,5
<b>Volume piscina (m3)</b>	2656	469

**Tabela A. 4 - caraterísticas das Naves das piscinas do Complexo Olímpico**

<b>Caraterísticas</b>	<b>Nave piscina olímpica</b>	<b>Nave piscina de formação</b>
<b>Área do cais (m2)</b>	1152	402
<b>Área total (m2)</b>	2402	714
<b>Pé direito (m)</b>	15	5,6
<b>Volume da nave (m3)</b>	36036	3999

A figura A.1 é uma fotografia da Nave da piscina olímpica, em que é possível verificar o seu enorme pé direito e as grandes dimensões do cais e da piscina.



**Figura A.0.1 - Nave da piscina olímpica**

## ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Na tabela B.1 é apresentada a potência elétrica dos equipamentos responsáveis pela climatização e ventilação do edifício e também das bombas de circulação responsáveis pelo AQS e pelas piscinas.

**Tabela B. 1 - Consumo global horário e diário (o consumo diário é feito a considerar funcionamento de 24h)**

Potência elétrica dos equipamentos [kW]	
UTA 1	29,5
UTA 2	29,5
UTA 3	15
UTA 4	13
UTAN 1	2,2
UTAN B1	2,2
UTV	2,2
Bombas circulação	8
Hidropressoras AQS	12
Bombas P50m	45
Bombas P25m	15
<b>Consumo global horário [kWh]</b>	<b>173,6</b>
<b>Consumo global diário [kWh]</b>	<b>4166,4</b>

Na tabela B.2 é feito um resumo de todas as potências térmicas dos vários equipamentos responsáveis pelo aquecimento do espaço, da piscinas e de AQS.

**Tabela B.2 - Potência térmica dos equipamentos**

<b>Equipamento</b>	<b>Potência [kW]</b>
UTA 1	148,7
UTA 2	148,7
UTA 3	280
UTA 4	69,5
UTAN 1	48
UTAN B1	51
Permutador P50m	890,6
Permutador P25m	120,1
Termoacumuladores AQS	469

A tabela apresenta as potências térmicas a serem instaladas para a climatização do espaço, consideradas em projeto. Estes dados foram retirados da memória descritiva do COPM.

**Tabela B.3 - potência consideradas em projeto**

<b>Potências de projeto</b>		
	<b>Parref. [KW]</b>	<b>Paquec. [KW]</b>
<b>Nave da Piscina Olímpica</b>	-	580
<b>Gabinetes / Salas de Trabalho e Zonas Sociais</b>	80	115
<b>Nave da Piscina Polivalente</b>	-	140
<b>Balneários / Ginásio</b>	-	65
<b>Arrecadações / Sala de Pessoal / I.S.</b>	-	5
<b>Ar-Novo Gabinetes / Salas / Ginásio / Balneários</b>	-	90
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>995</b>

A tabela B.4 apresenta os dados das UTAS e UTANs instaladas no COPM, foi também adaptada da memória descritiva do edifício.

Tabela B.4 - Características das UTAs e UTANs do COPM de Coimbra

	Modelo	Caudal (m3/h)	Potência aquecimento (kW)	Potência motora (kW)	Desumidificação (kg/h)
<b>UTA-P1</b>	BCP-610	43000	210	153	
<b>UTA-P2</b>	BCP-610	43000	210	153	
<b>UTA-P3</b>	CLIMACIAT GI 600	60000	159	45	
<b>UTA-P4</b>	BCP-315	30000	140	106	65,5
<b>UTAN-1</b>	BCP-610	6880	42	5	
<b>UTAN-B1</b>	BCP-610	7800	47	5	

A figura B.1, apresentada em baixo, é uma foto tirada na zona técnica do piso 5. Na foto é possível ver uma das UTAs responsáveis pela climatização da nave da piscina olímpica. É ainda possível verificar as suas enormes dimensões e que são necessárias condutas de grandes dimensões para insuflar ar para a nave.



Figura B.0.1 - UTA-P1 piso 5

## APÊNDICE C- CÁLCULOS DAS PERDAS TERMICAS DAS PISCINAS

Nas tabelas C.1 e C.2 são apresentados os cálculos feitos para a carga térmica perdida por evaporação, para a piscinas de 50 m e 25 m respetivamente.

Tabela C.0.1 – Cálculo das perdas térmicas por evaporação médias para cada mês, na piscina olímpica.

Mês	Tágua	Tar	$\phi_a$ (grau de saturação)	qe [MJ/m2. dia ]	qe [MJ/dia ]	qe[kWh/dia]
janeiro	26,529	24,103	56,772	10,309	12886,450	3579,570
fevereiro	26,390	24,708	58,204	9,516	11894,437	3304,010
março	26,445	24,642	56,642	9,906	12381,902	3439,417
abril	26,359	24,452	63,126	8,758	10947,785	3041,051
maio	26,347	25,390	61,920	8,321	10400,919	2889,144
junho	26,301	25,290	63,359	8,065	10081,502	2800,417
julho	26,448	26,013	65,752	7,246	9058,078	2516,133
agosto	26,186	26,238	63,476	7,217	9020,961	2505,823
setembro	26,321	25,756	65,639	7,312	9140,310	2538,975
outubro	26,377	25,261	69,045	7,106	8882,562	2467,378
novembro	26,388	24,733	67,117	7,873	9840,883	2733,579
dezembro	26,411	26,135	61,392	7,972	9965,124	2768,090
Média	26,375	25,227	62,704	8,321	10401,036	2889,177

Tabela C.0.2 - Cálculo das perdas térmicas por evaporação médias para cada mês, na piscina de 25 m.

	Tpiscina	Tar	$\phi_a$ (grau de saturação)	qe [MJ/m2. dia ]	qe [MJ/ dia ]	qe [kWh/ dia ]
janeiro	28,308	26,124	59,697	10,681	3337,804	927,168
fevereiro	28,283	26,728	57,196	10,733	3354,208	931,724
março	28,203	26,700	58,883	10,302	3219,402	894,278
abril	28,261	25,763	66,993	9,457	2955,334	820,926
maio	28,368	26,103	66,123	9,504	2969,907	824,974
junho	28,319	26,231	68,255	8,917	2786,458	774,016
julho	28,420	26,839	68,435	8,515	2661,038	739,177
agosto	28,306	26,747	66,729	8,793	2747,835	763,288
setembro	28,069	26,833	69,083	7,929	2477,903	688,306
outubro	28,352	26,652	69,800	8,302	2594,520	720,700
novembro	28,307	26,680	64,893	9,223	2882,134	800,593
dezembro	28,463	27,031	62,488	9,654	3016,950	838,042
Média	28,305	26,536	64,881	9,335	2917,261	810,350

Na figura C.1 são apresentadas as perdas térmicas para todos os dias do ano de 2015.

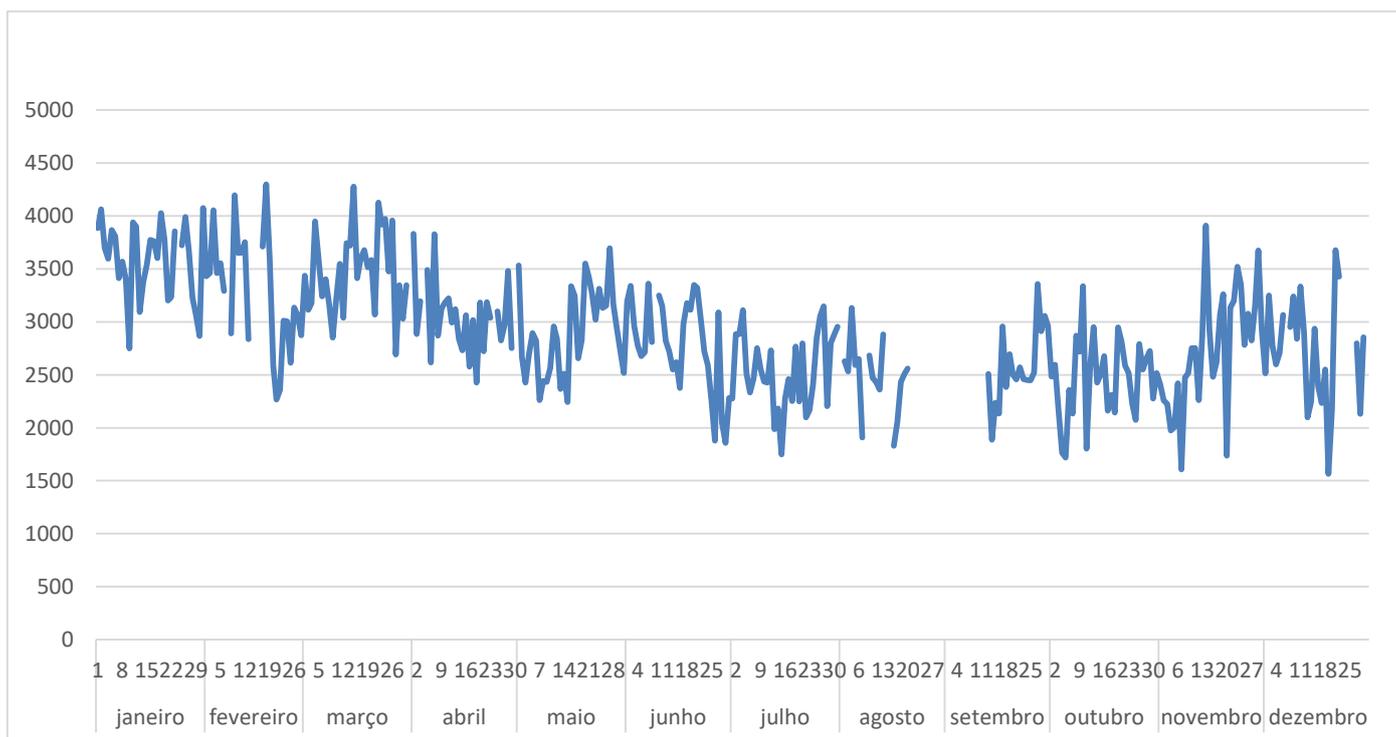
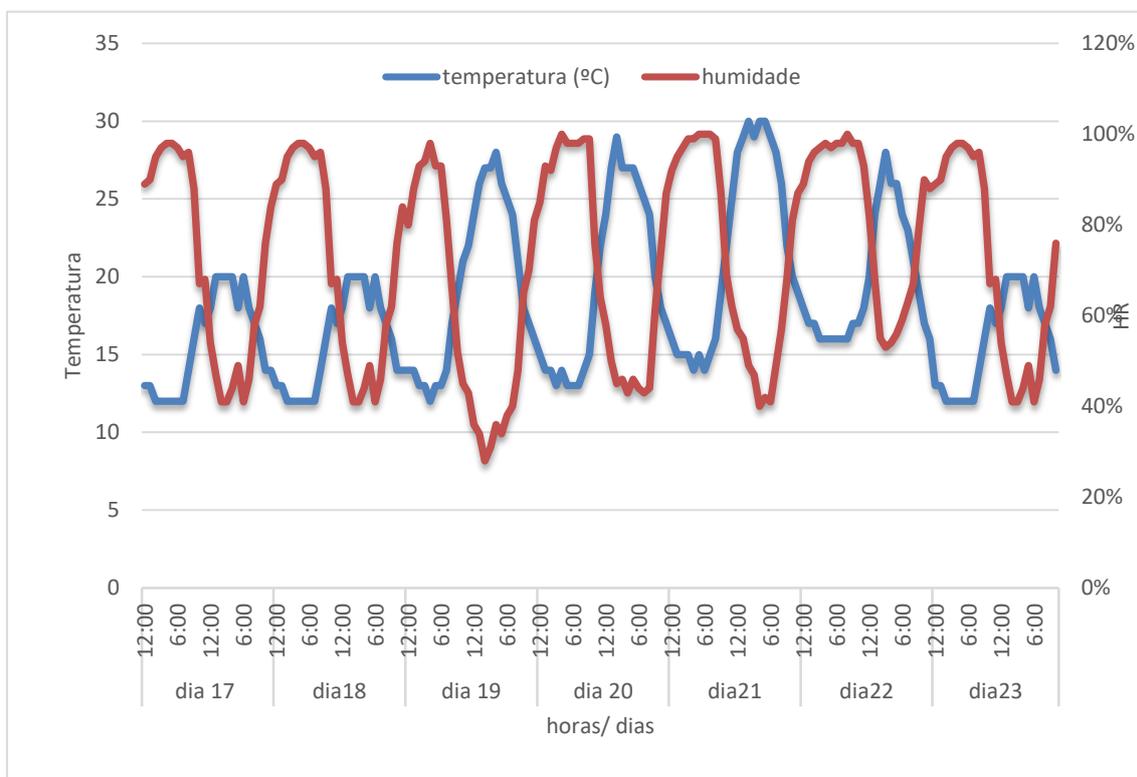


Figura C.0.1 - Dados evaporação diária [kWh/m²]

## APÊNDICE D – TEMPERATURAS EXTERIORES

Para efetuar a comparação com as condições medidas no interior da UTA, foi necessário saber as condições exteriores, nos dias para os quais foram efetuadas as medições. Para isto recorreu-se ao site weather underground.

Na figura D.1 são apresentados estes dados depois de serem tratados em Excel.



**Tabela D.0.1 - Dados de temperatura e humidade relativa exteriores, semana de 17 a 23 de junho.**

## APÊNDICE E - EQUIPAMENTOS E ESBOÇO DA UTA

Para melhor se compreender o funcionamento das UTA's instaladas no COPM foi feito um esboço da sua composição com a legenda de cada componente, como representado na figura E.1.

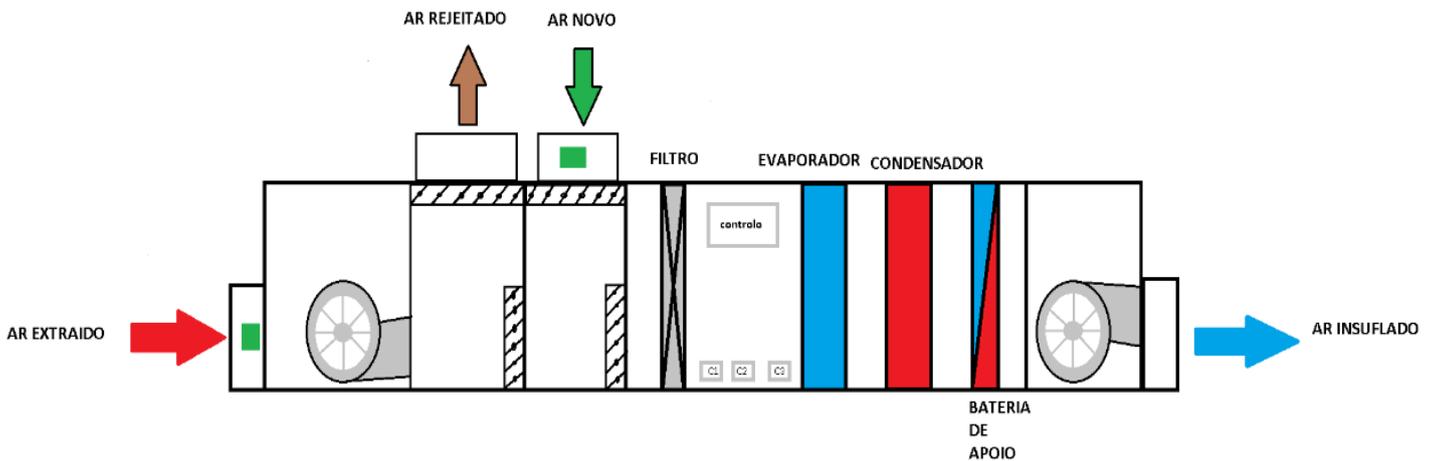


Figura E.1 - Esboço das UTA's do COPM