



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu

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

Autor

João Pedro Félix Apolinário

Orientadores

Professor Doutor José Carlos Miranda Góis

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Júri

Presidente	Professor Doutor José Joaquim da Costa Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Engenheiro Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas
Vogais	Assistente Convidado da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Carlos Miranda Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra



**CÂMARA MUNICIPAL
DE COIMBRA**

Coimbra, Setembro, 2015

Agradecimentos

A realização do documento que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e ao apoio de algumas pessoas, às quais não poderia deixar de prestar todo o meu reconhecimento e gratidão.

Gostaria então de agradecer, em primeiro lugar, aos meus orientadores Professor Doutor José Carlos Góis e Professor Doutor Adélio Gaspar pelo esclarecimento de dúvidas, por toda a preciosa ajuda e pela disponibilidade sempre demonstrada ao longo da elaboração da dissertação.

Agradecer também à Câmara Municipal de Coimbra por ter autorizado a realização deste estudo, em particular ao Engenheiro João Salustiano e ao Engenheiro Paulo Rodrigues pelas explicações dadas relativamente ao funcionamento de todo o complexo em estudo, pelo fornecimento de dados, pelo esclarecimento de dúvidas que foram aparecendo e, principalmente, por toda a simpatia e boa vontade sempre demonstradas.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, pelas muitas aventuras vividas e pelos desafios que ultrapassámos juntos.

À minha namorada, pelo carinho, apoio e incentivo manifestados, principalmente nos momentos mais complicados.

E finalmente, aos meus pais, avós e tia, por todo o apoio incondicional prestado ao longo da minha vida, em particular no meu percurso escolar e académico, pois sem eles não teria sido possível chegar onde cheguei.

Resumo

Os complexos desportivos, em especial os que possuem piscinas interiores, devem proporcionar aos utentes boa qualidade do ar, da água e conforto térmico no espaço envolvente à piscina, o que faz com que os consumos de energia térmica e elétrica sejam bastante elevados. Importa por isso analisá-los e tentar maximizar a sua eficiência energética, de forma a contribuir para a redução das despesas dos municípios com estes edifícios.

Esta dissertação tem como caso de estudo o Complexo de Piscinas Rui Abreu, situado em Coimbra. São analisados consumos e respetivos custos de eletricidade, gás natural e água. Diversos indicadores relativos ao consumo e custo de energia e de água, por número de utentes, área de superfície de piscina e área útil de edifício, são calculados e comparados com valores de estudos similares. Para os indicadores de energia por área de superfície de piscina obteve-se 726 kWh/m².ano em eletricidade e 1415 kWh/m².ano em gás natural, totalizando 2141 kWh/m².ano de energia total. Estes e outros indicadores mostraram ser da mesma ordem de grandeza de indicadores obtidos em outros complexos com piscinas interiores. Em termos de energia primária, o complexo consome 60,6 kgep/ m².ano.

Através de uma desagregação simplificada do consumo de energia térmica, concluiu-se que 71 % do consumo de gás natural é referente ao aquecimento da água das piscinas e 14 % ao aquecimento de AQS. A energia térmica consumida no aquecimento do edifício deverá rondar os 15%.

As elevadas necessidades térmicas e elétricas que o edifício demonstrou abrem a oportunidade de estudar a implementação de um sistema de cogeração. No entanto, o *payback* encontrado para as diferentes soluções de cogeração tornam o projeto pouco viável em termos económicos.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Auditoria Energética, Piscina Coberta, Consumo de Energia, Custo de Energia, Desagregação de Consumos.

Abstract

Sport complexes, especially those that have indoor swimming pools, must provide comfort conditions to their users, regarding air and water quality and thermal comfort. In order to offer a suitable comfort, a high energy consumption is required, both electrical and thermal. Since the energy consumption is so high, it is essential to analyze the energy consumption and cost, in order to optimize the energy efficiency and support City Hall to reduce the costs related to energy.

This thesis has as case study the Rui Abreu Swimming Pool Complex, located in Coimbra, Portugal. The consumption of electricity, natural gas and water and respective costs are analyzed, and energy efficiency indicators are obtained. Using the area of the swimming pool as reference, it was obtained 726 kWh/m².year of electricity, 1415 kWh/m².year of natural gas and 2141 kWh/m².year of total energy. These results are close to other complexes with indoor swimming pools. The consumption in terms of primary energy is 60,6 kgoe/m².year.

The heating of pool water represents 59 % of the natural gas consumption, and the domestic hot water represents 14 %. Thermal energy related to air heating, was not estimated, but should represent about 27 % of that consumption.

The high consumption of thermal and electrical energy of the building complex give the opportunity to study the implementation of a CHP (combined heat and power) system. However, the calculated payback period obtained for the different cogeneration solutions is too high for the project to be considered economically feasible.

Keywords Energy Efficiency, Energy Audit, Indoor Swimming Pool, Energy Consumption, Energy Costs, Consumption Breakdown.

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.....	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	4
2. ESTADO DA ARTE.....	7
2.1. Legislação europeia e nacional sobre a eficiência energética em edifícios.....	7
2.1.1. Considerandos do RSECE.....	9
2.2. Normas relativas à eficiência energética em edifícios.....	11
2.3. Investigação relativa à eficiência energética em piscinas cobertas.....	12
2.4. Medidas típicas utilizadas para melhorar a eficiência energética em piscinas cobertas.....	19
3. ESTUDO DE CASO: COMPLEXO DE PISCINAS RUI ABREU.....	23
3.1. Caracterização do complexo.....	23
3.2. Metodologia.....	24
3.3. Evolução do número de utilizadores do CPRA.....	25
3.4. Consumos de água e energia.....	28
3.4.1. Gás natural.....	28
3.4.2. Eletricidade.....	30
3.4.3. Água.....	30
3.5. Contabilização do consumo das energias térmica e elétrica.....	32
3.6. Contabilização da energia primária consumida.....	34
3.7. Despesas de água e energia.....	34
3.8. Indicadores.....	37
4. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO.....	41
4.1. Desagregação dos consumos de energia elétrica.....	43
4.2. Desagregação dos consumos de energia térmica.....	45
4.2.1. Estimativa da energia térmica gasta com AQS.....	45
4.2.2. Estimativa da energia térmica consumida no aquecimento da água das piscinas.....	47
4.2.3. Análise à implementação de um sistema de cogeração.....	51
4.3. Discussão de resultados.....	56
5. CONCLUSÕES E POSSÍVEIS MEDIDAS DE MELHORIA.....	59
5.1. Solução de melhoria: cogeração.....	60
5.2. Outras soluções de melhoria que podem ser adotadas.....	60

5.3. Propostas de investigação e trabalho futuros.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
Referências bibliográficas	63
Legislação.....	64
ANEXO A – PLANTAS DO CPRA.....	67
ANEXO B – ESQUEMAS DE PRINCÍPIO DO CPRA.....	69
APÊNDICE A - COGERAÇÃO	71

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Distribuição percentual dos consumos de energia em complexos com piscinas interiores (adaptado de Trianti-Stourna et al.,1998)	13
Figura 2.2 - Distribuição percentual dos consumos de energia em complexos com piscinas interiores (adaptado de Almeida, 2014)	13
Figura 2.3 - Distribuição de custos médios de energia em complexos de piscinas interiores (adaptado de Almeida, 2014)	16
Figura 3.1 - Vista exterior da entrada do CPRA.....	23
Figura 3.2 - Número de utentes nos anos 2013 e 2014.....	26
Figura 3.3 - Evolução do número mensal de utentes nos anos de 2013 e 2014.....	26
Figura 3.4 - Evolução mensal do número médio diário de utentes nos anos de 2013 e 2014.....	27
Figura 3.5 - Evolução do consumo anual de gás natural entre 2013 e 2014	28
Figura 3.6 - Evolução do consumo mensal de gás natural nos anos 2013 e 2014... ..	29
Figura 3.7 - Consumos mensais de eletricidade em 2014.....	30
Figura 3.8 - Evolução do consumo de água nos anos de 2013 e 2014.....	31
Figura 3.9 - Evolução do consumo mensal de água nos anos 2013 e 2014.....	31
Figura 3.10 - Evolução mensal comparativa do consumo de energia em 2014.....	33
Figura 3.11 - Distribuição percentual dos consumos de energia térmica e elétrica.....	33
Figura 3.12 - Repartição das despesas totais do CPRA em 2014.....	35
Figura 3.13 - Repartição percentual das despesas totais do CPRA em 2014.....	35
Figura 3.14 - Despesas mensais de eletricidade, gás natural e água em 2014.....	36
Figura 4.1 - Esquema de princípio simplificado dos circuitos de água quente do CPRA.....	41
Figura 4.2 - Motor Jenbacher tipo 4 da General Electric (adaptado de GE Power & Water, 2015)	53

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Desagregação dos consumos totais de energia em 3 complexos desportivos de Coimbra (adaptado de Pereira, 2013)	14
Tabela 2.2 - Desagregação dos consumos elétricos e térmicos em 3 complexos desportivos de Coimbra (adaptado de Pereira, 2013)	14
Tabela 2.3 - Energia gasta anualmente por área útil total de edifício e por área de superfície de piscinas (adaptado de Almeida, 2014)	17
Tabela 2.4 - Valores de referências do consumo de energia em centros de lazer, para dois tipos de cenários (adaptado de Carbon Trust, 2006)	17
Tabela 2.5 - Despesas de energia anuais por área útil total de edifício (adaptado de Almeida, 2014)	17
Tabela 2.6 - Conforto termo higrométrico (adaptado de Carrinho, 2010)	18
Tabela 3.1 - Quantidade de energia primária consumida em 2014.....	34
Tabela 3.2 - Consumos e custos específicos anuais de água e de energia por utente.....	37
Tabela 3.3 - Áreas brutas e áreas úteis do CPRA.....	38
Tabela 3.4 - Indicadores de consumo de energia e de água para os anos de 2013 e 2014...38	
Tabela 3.5 - Indicadores de despesas anuais de energia e água.....	39
Tabela 4.1 - Inventário dos principais mecanismos existentes no CPRA.....	42
Tabela 4.2 - Consumos de energia elétrica horária e diária dos aparelhos.....	44
Tabela 4.3 - Comparação entre consumos estimados e medidos.....	45
Tabela 4.4 - Água e Energia gastas no aquecimento das AQS.....	46
Tabela 4.5 - Taxas de evaporação da água das piscinas.....	48
Tabela 4.6 - Perdas térmicas por evaporação na piscina desportiva e na piscina de aprendizagem.....	49
Tabela 4.7 - Perdas de energia térmica por renovação da água das piscinas.....	50
Tabela 4.8 - Perdas de energia térmica diárias por transmissão de calor.....	51

Tabela 4.9 - Características térmicas e elétricas dos motores General Electric (adaptado de GE Power & Water, 2015)	53
Tabela 4.10 - Informações relativas às várias características energéticas e funcionais de cada tipo de equipamento (adaptado de Ribeiro, 2011).....	55
Tabela 4.11 - Dados económicos [€] e payback [anos] obtidos para os motores General Electric.....	55

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

$c_p \text{ água}$ – Calor específico da água [kJ/kg.°C];

C_t – Coeficiente de transmissão de calor por condução [W/m².°C];

c_v – Calor de vaporização da água [Wh/kg];

$m_{\text{água}}$ – Massa de água [kg];

\dot{M}_e – Taxa de evaporação [kg/h];

n – Número horário de utentes;

PCI_{GN} – Poder calorífico inferior do gás natural [MJ/kg];

\dot{Q}_e – Perdas térmicas por evaporação [W];

Q_r – Perdas térmicas por renovação de água [W];

$Q_{\text{sensível}}$ – Calor sensível [kJ];

\dot{Q}_t – Perdas térmicas por transmissão de calor [W];

S – Área de superfície de piscina [m²];

S_c – Área de superfície de contacto [m²];

$T_{\text{água piscina}}$ – Temperatura da água da piscina [°C];

$T_{\text{água rede}}$ – Temperatura da água da rede [°C];

$T_{\text{sup. exteriores}}$ – Temperatura das superfícies exteriores [°C];

V_r – Volume diário de água de reposição [m³/dia];

W_{as} – Humidade absoluta do ar saturado à temperatura do ar interior [kg(água)/kg(ar)];

W_e – Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água da piscina [kg(água)/kg(ar)];

ΔT – Variação de temperatura [°C];

$\eta_{\text{elétrico}}$ – Rendimento elétrico;

μ_a – Grau de saturação;

$\rho_{\text{água}}$ – Massa volúmica da água [kg/m³];

ρ_{GN} – Massa volúmica do gás natural [kg/m³N].

Siglas

ADENE – Agência Portuguesa para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Comissão Europeia

COPC – Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra

CPLLC – Complexo de Piscinas Luís Lopes da Conceição

CPRA – Complexo de Piscinas Rui Abreu

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia

Eco.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

EDP – Energias de Portugal

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GN – Gás Natural

IEE – Indicador de Eficiência Energética

IEEAF – Instituto da Economia Energética e Análise Financeira

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em
Ciências da Construção

LED – Light Emitting Diode

PE – Parlamento Europeu

PMMM – Pavilhão Multidesportos Dr. Mário Mexia

PRE – Plano de Racionalização Energética

QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos
Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e
Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

SCEQAI – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar
Interior nos Edifícios

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

UE – União Europeia

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VAL – Valor Atual Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A utilização e o consumo de energia, assim como as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) que lhes estão associadas, têm vindo a intensificar-se ao longo das últimas décadas, um pouco por todo o globo terrestre, deixando um enorme rasto de poluição atmosférica e de degradação do meio envolvente. Esta tendência tem sido bem notória em países emergentes como a China ou a Índia que, para além do crescimento populacional que vivem atualmente, se encontram também em franca ascensão económica, necessitando de cada vez mais recursos para satisfazer as suas necessidades energéticas. Como a energia proveniente de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural, entre outros) é teoricamente mais barata e fácil de obter, num curto espaço de tempo, do que a maioria das energias renováveis, que requerem muitas vezes grandes investimentos monetários e o retorno energético das mesmas não é imediato, estes países continuam a optar preferencialmente por energias não-renováveis, fazendo as suas economias evoluírem a um ritmo superior ao das ditas economias desenvolvidas.

Para se ter uma ideia, segundo uma publicação de Clifford (2015), a China, que possui aproximadamente um sexto da população mundial, é responsável por cerca de metade do consumo mundial de carvão mineral e por 30 % das emissões de CO₂ geradas globalmente. De acordo com o Instituto da Economia Energética e Análise Financeira (IEEAF), 72,5 % da eletricidade produzida pela China em 2014 teve origem no carvão mineral, o que reflete bem a dependência atual da economia chinesa relativamente a este combustível fóssil. Ainda assim, o IEEAF prevê que o consumo de carvão mineral na China atinja o seu máximo dentro dos próximos anos e que a produção de eletricidade a partir deste combustível baixe para os 60 % em 2020, através da forte aposta em energias renováveis (Clifford, 2015).

Na Europa a grande maioria dos países já se encontram desenvolvidos e industrializados, havendo portanto uma menor propensão à utilização de energias não renováveis, quando comparados com países mencionados anteriormente. No entanto, o

grande impulsionador desta mudança no continente europeu não foi tanto o facto de estarmos perante países desenvolvidos, mas sim o acordo estabelecido pelos Estados Membros da União Europeia (UE) aquando da assinatura do Protocolo de Quioto, que estabeleceu metas de redução das emissões dos GEE mais apertadas aos países desenvolvidos, obrigando-os assim a reduzir de uma forma progressiva e significativa o consumo de combustíveis fósseis, bem como a melhorar a sua eficiência energética.

Também a Diretiva 2012/27/UE veio reforçar, junto dos Estados Membros, a necessidade de se promover a eficiência energética através do incentivo à realização de auditorias energéticas por entidades especializadas, o que permitirá ter um maior controlo sobre a energia que se gasta e se esta se encontra dentro das metas impostas nos diversos protocolos europeus e internacionais existentes.

Dados recentes divulgados no “Pacote União Energia”, pela Comissão Europeia (CE), (2015), mostram que 53 % da energia consumida na UE é importada, o que representa um custo de aproximadamente 400 mil milhões de euros aos países da UE. Este fator torna a maioria desses países vulneráveis às oscilações do preço dos combustíveis, até porque, no caso do gás natural, por exemplo, alguns Estados Membros da UE têm apenas um fornecedor externo para as importações deste combustível. Ainda no mesmo documento, e segundo algumas estimativas, a poupança de 1 % no consumo de energia traduzir-se-ia numa redução de 2,6 % nas importações de gás natural.

Prado (2015) refere que em Portugal, segundo a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), a dependência energética face ao exterior, registada em 2014, baixou significativamente em relação ao ano anterior, passando de 73,7 % para 71 %. A mesma entidade menciona que esta redução se deveu em grande parte à diminuição do consumo no sector energético, reduzindo-se assim as importações de gás natural e de petróleo. Relativamente ao tipo de energia final consumida em 2014, o petróleo representou a maior fatia (55,1 %), tal como vem sendo hábito ao longo dos últimos anos. Logo de seguida estão a eletricidade, o gás natural e a biomassa, com 26,9 %, 10,7 %, e 5,9 %, respetivamente (Prado, 2015).

De acordo com a ADENE – Agência para a Energia (2015), cerca de 40 % da energia final consumida na UE está a cargo do sector dos edifícios, podendo mais de 50 % desse mesmo consumo ser reduzido através da implementação de medidas de eficiência energética, o que significaria uma redução nas emissões anuais de CO₂ na ordem dos 400

milhões de toneladas. Este é, portanto, um dos sectores com maior margem de progressão no sentido de se combater a ineficiência energética, onde a regulamentação e a certificação energética (introduzida pelos Decretos-Lei n.º 78, 79 e 80) desempenham um papel importantíssimo.

Incluídos no sector dos edifícios estão os complexos municipais com piscinas cobertas, que são, segundo a norma NP EN 15288-1, de 2008, instalações compreendendo um ou mais planos de água para banhos – piscinas/tanques – integrados numa construção coberta por uma estrutura fixa ou móvel. Este tipo de complexos contribui consideravelmente para o agravamento das faturas energéticas pagas todos os meses pelas autarquias às companhias de abastecimento, já que têm consumos de energia térmica bastante consideráveis, tanto ao nível do aquecimento da água da piscina e das águas quentes sanitárias (AQS), como de climatização do espaço, o que resulta em enormes gastos de gás natural, por exemplo. Também a energia gasta na renovação do ar interior por parte de sistemas de ventilação costuma ter um papel importante nos gastos energéticos finais de edifícios deste género.

Por tudo o que foi referido anteriormente, torna-se claro que é imprescindível a aplicação de estratégias que visem reduzir substancialmente os consumos de energia.

Para que tal seja possível, é indispensável a realização de auditorias internas e/ou externas no sentido de se verificar quais os pontos críticos da instalação em causa, examinando se todos os equipamentos estão a funcionar dentro dos parâmetros esperados e se são, igualmente, os mais indicados e eficientes.

Assim, a otimização de processos e conceção de medidas que conduzam à melhoria da eficiência energética de edifícios com estas características torna-se num interessante desafio, ainda para mais quando se está a lidar com casos reais.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste estudo é efetuar uma análise relativa ao comportamento energético do Complexo de Piscinas Rui Abreu (CPRA), pretendendo-se encontrar oportunidades de melhoria e soluções plausíveis.

Para isso foi necessário realizar uma pesquisa prévia sobre a problemática da eficiência energética, conhecendo quais os aspetos mais importantes desta vertente. É igualmente relevante consultar artigos e estudos científicos nacionais e internacionais

relacionados com o tema abordado para encontrar indicadores energéticos de referência em complexos de piscinas interiores, pois estes servirão de elemento comparativo para os valores obtidos no caso de estudo.

Serão analisados números relativos aos consumos e custos de eletricidade, gás natural e água, e ainda verificados perfis de utilização do complexo, obtendo com isso indicadores energéticos e uma evolução cronológica dos consumos e gastos.

Pretende-se efetuar ainda uma desagregação de consumos energéticos, ou seja, aferir qual é a quota representativa de cada tipologia de consumo nos consumos globais da instalação, podendo assim verificar-se mais facilmente a existência de consumos marginais e de oportunidades de melhoria substanciais no sistema. A partir da potência térmica dos equipamentos irá testar-se a implementação de um sistema de cogeração.

Por fim, é apresentado um conjunto de soluções que visam melhorar o desempenho global do edifício.

1.3. Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos que apresentam, de uma forma genérica, as várias fases do estudo e do trabalho desenvolvido. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema em si, enquadrando e despertando o leitor para os aspetos desenvolvidos nos capítulos seguintes.

O segundo capítulo apresenta uma espécie de síntese da informação mais importante recolhida, desde legislação europeia e nacional, metodologias de cálculo de eficiência energética de edifícios, normas, estudos de eficiência energética em piscinas cobertas, até indicadores energéticos encontrados em outros estudos realizados a complexos com piscinas cobertas e ainda medidas de melhoria do desempenho energético que podem ser aplicadas a este tipo de edifícios.

No terceiro capítulo é exposto o estudo de caso, onde são apresentados e interpretados todos os dados recolhidos, relativos ao CPRA, como perfis de utilização e ocupação das piscinas, consumos de energia, consumos de água e respetivos custos, dos últimos anos. Neste capítulo encontram-se também alguns indicadores estimados para o complexo de piscinas cobertas em questão.

No quarto capítulo é feita a análise do funcionamento de todo o complexo estudado, incluindo os equipamentos e processos que o constituem, e são estimados valores

consumidos pelos equipamentos com maior relevância nos gastos finais de energia elétrica e térmica, discutindo-se os resultados encontrados. Encontra-se também uma análise económica referente à instalação de um sistema de cogeração.

O quinto e último capítulo é composto por um apanhado de todas as conclusões possíveis de retirar do estudo efetuado e também por algumas propostas de estudo que poderão ser desenvolvidas em futuras dissertações.

2. ESTADO DA ARTE

Uma das grandes preocupações ambientais existentes hoje em dia prende-se com a crescente exploração e degradação dos recursos naturais para satisfazer as necessidades energéticas globais, o que pode colocar em causa o futuro das gerações vindouras. Felizmente, esta problemática tem sensibilizado diversas entidades internacionais, o que resultou na aprovação de alguns protocolos, acordos institucionais e diretivas europeias complementadas por normas, com o intuito de serem desenvolvidas soluções que visem otimizar os consumos de energia a nível global. Existem já, no caso de complexos com piscinas interiores, alguns resultados de trabalhos de investigação desenvolvidos, assim como medidas típicas recomendadas com o propósito de economizar energia, sem colocar em causa o bom funcionamento deste tipo de edifícios.

2.1. Legislação europeia e nacional sobre a eficiência energética em edifícios

A 16 de dezembro de 2002 foi dado o primeiro passo oficial relativamente ao desempenho energético dos edifícios na União Europeia, através da publicação da Diretiva 2002/91/CE, por parte do Parlamento Europeu (PE) e do Conselho, onde se estabeleceu que os Estados-Membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de maneira a informar o cidadão sobre as características térmicas dos edifícios, abrangendo tanto edifícios para posterior venda ou arrendamento como também grandes edifícios públicos. Esta diretiva foi transposta posteriormente para o ordenamento jurídico português através do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCEQAI) nos Edifícios, do Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). A Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), a Agência Portuguesa do

Ambiente (APA) e a ADENE ficaram responsáveis, respetivamente, pela supervisão do SCE nas vertentes da energia, da qualidade do ar interior e da gestão do sistema.

A Portaria 461/2007, publicada em Diário da República a 5 de junho de 2007, veio definir a calendarização da aplicação do SCE aos vários tipos de edifícios. Nela foi estabelecido que, a partir de 1 de janeiro de 2009, todos os edifícios, independentemente da data em que foram construídos, estariam obrigados a realizar a certificação energética e sujeitos a auditorias à qualidade do ar interior.

A 19 de maio de 2010 foi publicada, por parte do PE, a Diretiva 2010/31/UE, referente ao desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de reformular o regime estabelecido pela Diretiva 2002/91/CE. Esta diretiva veio promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União Europeia, clarificando alguns dos princípios do texto inicial e adicionando novas disposições que apontam ao reforço do quadro de promoção do desempenho nos edifícios, lembrando as metas acordadas pelos Estados-Membros para o ano de 2020. Foi transposta para o ordenamento jurídico nacional pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, a 20 de agosto, visando melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, através da inclusão do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) num único diploma.

A 4 de fevereiro de 2011, o Conselho Europeu veio alertar para o facto de o objetivo de atingir 20 % de eficiência energética na União Europeia em 2020, acordado em junho de 2010 pelo mesmo Conselho Europeu, não estava em vias de ser conseguido. Já no ano de 2007 tinham prevenido para a necessidade de aumentar a eficiência energética na União Europeia, a fim de se atingir o objetivo de economizar 20 % do consumo de energia primária da mesma. As projeções feitas nesse mesmo ano indicaram que o consumo de energia primária em 2020, sem reduções percentuais no consumo, seria de 1842 Mtep, e que com uma redução de 20 % nesse consumo já corresponderia a 1474 Mtep, ou seja, uma redução de 368 Mtep face às projeções (Diretiva 2012/27/UE).

A 9 de dezembro de 2011, foi criado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP), posteriormente publicado em Diário da República através do Despacho n.º 1729/2011, no seguimento de uma perspetiva posterior ao Protocolo de Quioto, de onde resultou o pacote

“Energia-Clima 20-20-20” da UE. O Eco.AP tem como principal objetivo atingir, até 2020, um nível de eficiência energética de 20 %, em relação a 1990, nos organismos da administração pública e nos serviços públicos. Para isso, o Eco.AP definiu um conjunto de medidas de eficiência energética a realizar a curto, médio e longo prazo nos organismos, serviços e equipamentos públicos, definindo ainda as seguintes metas:

- Reduzir em 20 % as emissões de GEE relativamente ao ano de 1990;
- Fazer com que 20 % da energia final consumida, em termos de consumo bruto, seja proveniente de fontes de energia renovável;
- Melhorar em 20 % a eficiência energética.

No dia 25 de outubro de 2012, a União Europeia e o Conselho adotaram a Diretiva 2012/27/UE, relativa à eficiência energética, que veio revogar duas diretivas anteriores, a Diretiva n.º 2004/8/CE e a Diretiva n.º 2006/32/CE, referentes à promoção da cogeração. Esta diretiva vem reforçar a necessidade de se promover a eficiência no consumo e, principalmente, a intervenção das entidades reguladoras nesta matéria. Foi transposta para ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 68-A/ 2015, tendo sido publicado em Diário da República no dia 30 de abril de 2015. Este vem alterar, entre outros diplomas:

- O Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de março, que estabelece a disciplina da atividade de cogeração;
- O Decreto-Lei n.º 141/2010, de 31 de dezembro, que define as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final;
- O Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, que regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia, e que foi criado com o objetivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia;
- O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.

2.1.1. Considerandos do RSECE

A obrigatoriedade de uma verificação periódica dos consumos reais nos edifícios de grandes dimensões, imposta pela Diretiva n.º 2002/91/CE, serviu de mote para a criação do RSECE, um dos documentos auxiliares mais importantes para a melhoria da eficiência energética no setor dos edifícios. Atualmente o documento em questão já não se encontra

em vigor visto que apresentava algumas falhas relativas ao método de análise e de cálculo do desempenho energético dos vários tipos de edifícios existentes, tendo sido substituído pelo RECS. No entanto, como o RSECE possui uma série de indicadores referência tabelados que o RECS não tem, resolveu utilizar-se a metodologia de cálculo do indicador de eficiência energética (IEE) do primeiro regulamento referido, e que vem expressa mais à frente, para posterior comparação com os tais valores tabelados.

O RSECE, regulamento escolhido, tinha como principais objetivos:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene necessárias nos diferentes espaços de cada edifício, segundo a sua tipologia;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios em todos os tipos de consumo de energia;
- Estabelecer regras de eficiência aos sistemas de climatização, garantindo ao mesmo tempo uma boa qualidade do ar interior;
- Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização.

Segundo o artigo 3.º do RSECE, a caracterização energética de um edifício é feita através do cálculo de um indicador de consumo específico, o indicador de eficiência energética (IEE), expresso em unidades de energia final ou primária por metros quadrados de área útil por ano. O ponto 1 do artigo 7.º do mesmo regulamento refere que o consumo global específico de energia de um grande edifício de serviços tem de ser avaliado periodicamente por auditoria energética realizada no âmbito do SCE, não podendo ultrapassar o valor limite definido no regulamento.

De acordo com o anexo IX do RSECE, o cálculo do IEE pode ser efetuado através dos consumos efetivos de energia de um edifício durante um ano, convertidos, usando os fatores de conversão indicados no mesmo documento, para energia primária, ou com base na média dos consumos de energia dos três anos anteriores à auditoria, convertidos igualmente para energia primária. A primeira forma de cálculo é mais complexa e morosa já que é necessário conhecer-se bastantes parâmetros, alguns deles difíceis de obter. A segunda forma é mais direta e simplificada e vem expressa na Equação 2.1.

$$IEE_{\text{simplificado}} = \frac{\text{Energia primária} \left[\frac{\text{kgep}}{\text{ano}} \right]}{\text{Área útil} [\text{m}^2]} \quad (2.1)$$

Para além do $IEE_{\text{simplificado}}$, obtido a partir da conversão dos consumos registados nas faturas energéticas do edifício em energia primária, deve ser calculado também o consumo nominal específico de energia do edifício (IEE_{nominal}), através de uma simulação dinâmica baseada nos padrões nominais definidos no Anexo XV do RSECE. Caso o $IEE_{\text{simplificado}}$ e o IEE_{nominal} sejam superiores ao $IEE_{\text{referência}}$, deverá ser preparado um plano de racionalização energética (PRE), à aprovação da DGEG, e implementado com algumas medidas de eficiência energética viáveis economicamente.

2.2. Normas relativas à eficiência energética em edifícios

A verificação da eficiência energética em edifícios públicos, edifícios de comércio e serviços é importante no sentido de se apurarem as condições energéticas na instalação em causa, podendo assim identificar-se a existência de perdas energéticas e de processos ou aparelhos que não estejam a funcionar nas melhores condições de eficiência energética. Para esta verificação é imprescindível a realização de auditorias energéticas, pois é através destas que se contabilizam os consumos específicos e os rendimentos energéticos dos equipamentos existentes na instalação, permitindo aos responsáveis pela mesma formular as medidas mais adequadas para eliminar ou reduzir as falhas energéticas existentes.

Segundo a Diretiva 2012/27/UE, as auditorias devem ter em conta as normas EN ISO 14000 (Sistemas de Gestão Ambiental), EN ISO 50001 (Sistemas de Gestão Energética) e EN ISO 16247-1 (Auditorias Energéticas). Estas são as normas que especificam os requisitos necessários para a realização de uma auditoria energética de alta qualidade, ajudando a fornecer rigor e transparência ao mercado de serviços de auditorias energéticas.

Para além das normas mencionadas anteriormente, existem também, relativamente à eficiência energética de edifícios, as normas:

- EN ISO 13790:2008 - “*Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008)*”, que indicam métodos de avaliação e quantificação da energia consumida no aquecimento e arrefecimento de edifícios.

-
- EN 16343:2013 -“*Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*”, que define formas de expressar o desempenho energético de um determinado edifício, como indicadores globais (que incluem aquecimento, ventilação, ar condicionado, águas quentes sanitárias (AQS) e sistemas de iluminação), os procedimentos para definir os valores de referência e as formas de obter a certificação energética do edifício.

2.3. Investigação relativa à eficiência energética em piscinas cobertas

A eficiência energética em edifícios tem ganho uma grande relevância nos últimos anos, particularmente na zona euro, tendo sido alvo de vários estudos por parte de diversos investigadores, por se tratar de um dos pontos sectoriais com maior potencial para a implementação de medidas de melhoria. As piscinas cobertas e os restantes complexos desportivos, pertencentes ao sector dos edifícios, apresentam características muito peculiares por possuírem necessidades energéticas totalmente diferentes das restantes. Os seus consumos de energia são geralmente muito elevados, estando dependentes de várias características como a localização geográfica do complexo, a época do ano ou o número de horas de funcionamento.

Segundo uma publicação de EEO de 1988, referenciada por Trianti-Stourna *et al.* (1998), o consumo de energia típico para um complexo com piscinas cobertas está repartido em 45 % para a ventilação e aquecimento do espaço, 33 % para o aquecimento da água da piscina, 10 % para os sistemas de aquecimento e ventilação do restante edifício, 9 % para os equipamentos e a iluminação e, por fim, 3 % para o aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) (Figura 2.1). Assim, é possível verificar que o aquecimento e a ventilação do espaço são as componentes que têm um maior peso no consumo final de energia, logo seguidos do aquecimento da água da piscina. Como o aquecimento da água das piscinas e o aquecimento do espaço têm geralmente uma grande quota de componente térmica associada, este será porventura o tipo de energia com maior percentagem de consumo.

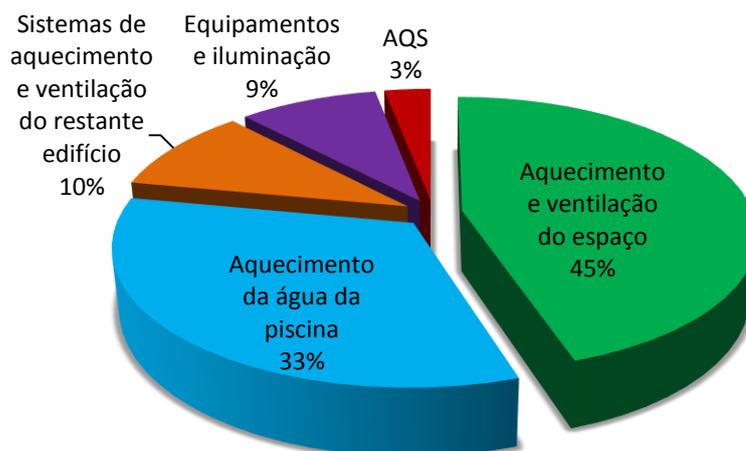


Figura 2.1 - Distribuição percentual dos consumos de energia em complexos com piscinas interiores (adaptado de Trianti-Stourna *et al.*, 1998).

Também um estudo realizado por DETREE (2013), referido por Almeida (2014), partilha uma distribuição de percentagens que se aproxima das apresentadas anteriormente. Essa distribuição percentual de consumos de energia pode ser verificada na Figura 2.2. Almeida (2014), num trabalho que realizou sobre o Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (COPC), onde analisou a distribuição dos consumos e das despesas com a energia para dois anos consecutivos, chegou a valores percentuais próximos dos referidos anteriormente, ficando o consumo de energia térmica compreendido entre 73 % e 74 % e o da energia elétrica entre 26 % e 27 %.

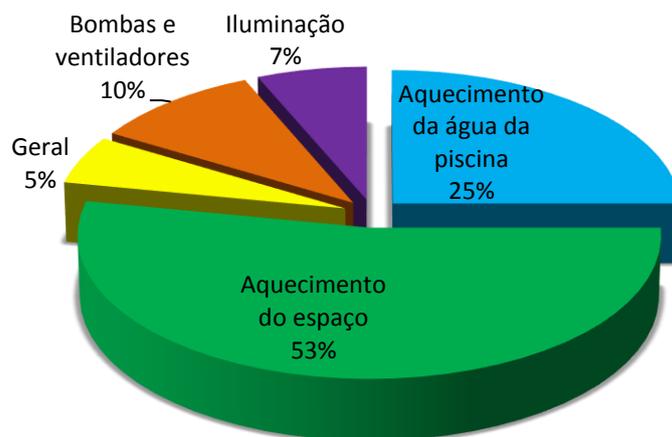


Figura 2.2 - Distribuição percentual dos consumos de energia em complexos com piscinas interiores (adaptado de Almeida, 2014).

Uma auditoria energética realizada em 2009, pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), ao CPRA, objeto de estudo da presente dissertação, e a outros complexos de Coimbra, referenciada por Pereira (2013), chegou a valores de consumos globais com a distribuição demonstrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Desagregação dos consumos totais de energia em 3 complexos de piscinas de Coimbra (adaptado de Pereira, 2013).

Edifícios	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.

Para o CPRA, o tratamento e aquecimento da água das piscinas, a climatização do espaço e as AQS são responsáveis por 86,8 % do consumo de energia.

Em termos de desagregação dos consumos de energia térmica e elétrica, apurada também pelas auditorias executadas pelo ITeCons aos edifícios referidos na Tabela 2.1, registaram-se as distribuições de percentagens apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Desagregação dos consumos elétricos e térmicos em 3 complexos desportivos de Coimbra (adaptado de Pereira, 2013).

Energia elétrica					
Edifícios	Iluminação [%]	Outros [%]	Tratamento e aquecimento da água das piscinas [%]	Climatização [%]	AQS [%]
CPRA	17,4	2,2	49,5	29,0	1,8
COPC	20,0	3,8	34,0	39,8	2,5
CPLLC	17,4	3,7	41,2	37,0	0,8
Energia térmica					
CPRA	-	-	47,8	15,4	36,8
COPC	-	-	17,7	65,0	17,3
CPLLC	-	-	42,9	22,8	34,3

Tanto para o CPRA como para o CPLLC, a parcela que mais interferência tem em termos de consumos de energia térmica e elétrica é o tratamento e aquecimento da água

das piscinas. No COPC, a vertente em que se gasta mais energia é a climatização, tanto em termos térmicos como elétricos, o que está intrinsecamente relacionado com a sua grande envergadura arquitetónica e também com o elevado número de utilizadores, quando comparado com os restantes edifícios (mais pequenos e menos frequentados).

Para contornar os consumos elétricos, ou seja, diminuir a contribuição da energia elétrica no consumo global verificado nos edifícios em questão, Pereira (2013) realizou uma análise económica à substituição de todas as lâmpadas existentes nas instalações referidas por lâmpadas LED, embora a iluminação não seja o parâmetro elétrico mais crítico.

Para o piso 0 do CPRA, este autor verificou que o investimento inicial seria de 12600 €, passando o consumo anual correspondente à iluminação de 36345 kWh para os 12551 kWh, representando assim uma grande redução. Os custos anuais para as lâmpadas existentes era de 2652 € e passaria para os 916 €, reduzindo a despesa em quase dois terços. Também as emissões anuais de CO₂ seriam reduzidas dos 13411 kg CO₂ para 4631 kg CO₂. No entanto o tempo de retorno seria de 7,26 anos, o que é um período assinalável, principalmente para as autarquias responsáveis por este tipo de complexos, visto que os orçamentos das mesmas são apertados e por essa razão preferem adotar medidas com retornos financeiros céleres. O mesmo autor também analisou a substituição das lâmpadas da nave dos diferentes complexos e, no caso do CPRA, o projeto seria menos aliciante do que para o piso 0, já que o tempo de retorno se fixaria em 14,58 anos.

Em relação aos custos médios associados ao consumo de energia total em complexos de piscinas cobertas, a distribuição percentual de energia térmica e elétrica é diferente da repartição verificada nos consumos. De acordo com o estudo de DETREE (2013), referenciado mais uma vez por Almeida (2014), os custos com a energia elétrica rondam os 59 %, enquanto os custos com a energia térmica se encontram nos 41 %, tal como se pode observar na Figura 2.3.

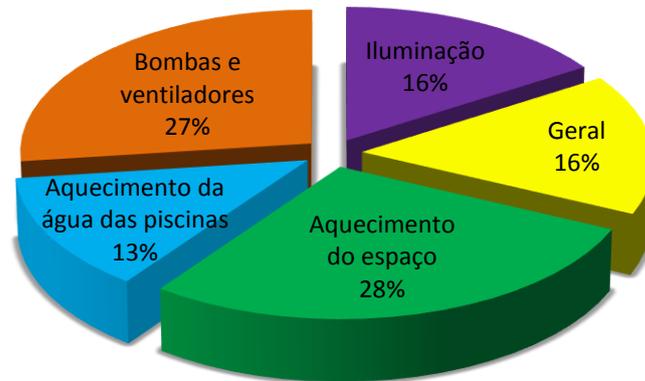


Figura 2.3 - Distribuição de custos médios de energia em complexos de piscinas interiores (adaptado de Almeida, 2014).

Almeida (2014) chegou a uma distribuição de custos diferente dos mencionados anteriormente, com as percentagens de energia térmica e elétrica a estarem situadas no intervalo 55-57 % e 43-45 %, respetivamente. No entanto, estes têm de ser vistos com cuidado já que os preços de mercado relativos à energia poderão ser diferentes nos dois países em questão em que se encontram os complexos.

Num estudo realizado por Trianti-Stourna *et al.* (1998), para cinco complexos de piscinas cobertas na Grécia sem sistemas de climatização, com uma área de superfície de piscina compreendida entre os 3016 e os 3527 m², o consumo médio anual de energia total por área coberta foi de 450,1 kWh/m² e por área de superfície de piscina foi da ordem dos 1095 kWh/m². Relativamente ao consumo de eletricidade médio anual por área coberta, o resultado foi de 57,5 kWh/m². A mesma fonte diz ainda que o consumo médio anual de energia em climas continentais varia entre 600 e 6000 kWh/m² de área coberta.

Almeida (2014), na investigação que realizou, chegou a valores compreendidos entre 617-645 kWh/m².ano para a energia total gasta por área útil, 2541-2695 kWh/m².ano para a energia total gasta por área de superfície de piscina e 169 kWh/m².ano para a eletricidade por área útil. Na Tabela 2.3 podem verificar-se esses e outros valores a que chegou Almeida (2014).

IECU (1994), citado por Almeida (2014), menciona que o consumo médio anual de energia por área de piscina, em complexos com piscinas interiores, é de 4300 e 5200 kWh/m².ano para climas mediterrâneos e climas continentais, respetivamente.

Tabela 2.3 – Energia gasta anualmente por área útil total de edifício e por área de superfície de piscinas (adaptado de Almeida, 2014)

Indicadores energéticos [kWh/m ² .ano]	2012	2013
Eletricidade/Área COPC	169	169
Gás natural/Área COPC	485	448
Energia Total/Área COPC	654	617
Eletricidade/Área Sup. Piscinas	696	696
Gás natural/Área Sup. Piscinas	1999	1845
Energia Total/Área Sup. Piscinas	2695	2541

Seguidamente, apresentam-se, na Tabela 2.4, os consumos típicos de energia térmica e elétrica por área total de edifício, em complexos com piscinas cobertas, com e sem adoção de medidas de boas práticas energéticas.

Tabela 2.4 – Valores de referências do consumo de energia em centros de lazer, para dois tipos de cenários (adaptado de Carbon Trust, 2006)

Tipologia	Energia [kWh/m ² .ano]			
	Combustível fóssil		Eletricidade	
	Típico	Boas práticas	Típico	Boas práticas
Centro com piscina de 25 m	1336	573	237	152
Centro com piscina de lazer	1321	573	258	164
Centro com combinação dos dois cenários	598	264	152	96

No estudo que Almeida (2014) realizou, desenvolveu também alguns indicadores relacionados com os custos de energia anuais por unidade de área do edifício, e que vêm apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Despesas de energia anuais por área útil total de edifício (adaptado de Almeida, 2014).

Indicadores energéticos [€/m ² .ano]	2012	2013
Eletricidade/ Área COPC	22,26	22,15
Gás natural/ Área COPC	29,74	27,30
Energia total/ Área COPC	52,00	48,45

Relativamente ao consumo médio de energia por utente, IECU (1994), referenciado mais uma vez por Almeida (2014), refere que cada utente gasta anualmente 0,7 kWh. O mesmo autor menciona também que a evaporação específica de uma piscina é de 13

g/(m².h) no período de funcionamento e de 6,5 g/(m².h) no período em que se encontra fechada.

A evaporação nos complexos com piscinas depende de vários parâmetros como a humidade relativa da nave, a diferença de temperaturas registadas dentro e fora de água, área da piscina, a taxa e o período de ocupação da mesma e a velocidade do ar à superfície da água, tal como referem Almeida (2014) e Carrinho (2010), referenciando Beleza et al. (2007) e Soares (2004). De forma a contornar os problemas de desconforto térmico e de evaporação da água, a Diretiva CNQ 23/93, referenciada por Carrinho (2010), veio propor algumas indicações relativamente ao conforto termo higrométrico, resumidas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Conforto termo higrométrico (adaptado de Carrinho, 2010).

Requisitos	Valores
Humidade relativa	55 % -75 %
Temperatura (seca) do ar	Superior ou igual à temperatura da água da piscina com a temperatura mais baixa, ≥ 24 °C
Temperatura do bolbo húmido	≥ 23 °C
Caudal de ar renovado por utente	6 l/s
Velocidade de ar insuflado	< 0,2 m/s

Uma das soluções que podem ser implementadas de maneira a diminuir a evaporação da água das piscinas passa pela colocação de uma cobertura na área de superfície de piscina quando esta não está a ser utilizada, tal como refere BRECSU (1994) num estudo que efetuou a uma piscina de 25×12 m² situada em Cardiff. Segundo as suas estimativas, a aplicação deste acessório na superfície de água da piscina no período em que esta se encontrava encerrada, permitia uma redução bastante significativa na evaporação e nas perdas térmicas, e que se traduzia numa poupança no consumo de energia na ordem dos 22 % (15% relativamente aos custos de energia).

Existem, hoje em dia, diferentes tipos de coberturas para piscinas, tanto em relação ao material que as constitui como pelo tipo de aplicação e recolha. Em termos de colocação e de recolha, estas podem ser executadas de forma manual, semiautomática ou automática (Beleza et al., 2007; US Department of Energy, 2009, *apud* Carrinho, 2010).

Quanto ao tipo de material em si, são fabricadas coberturas de polietileno, polipropileno e vinil (Beleza et al., 2007, *apud* Carrinho, 2010), sendo as de bolhas (compostas por polietileno alveolado) as mais baratas. No entanto, são também as menos resistentes e duradouras devido ao rompimento das bolhas. Para além disso, a sua colocação e remoção necessita de recursos humanos devido à dificuldade em colocar e retirar este acessório do plano de água das piscinas. Outras coberturas à base de polietileno são as de espuma, sendo mais espessas e resistentes do que as anteriores, mas necessitando igualmente de colocação e recolha manual. (US Department of Energy, 2009, *apud* Carrinho, 2010).

De recolha automática podem encontrar-se as coberturas de lâminas, à base de policloreto de vinil, contudo apresentam um custo monetário mais elevado e têm a desvantagem de não poderem ser colocadas automaticamente caso haja separadores de pistas nas piscinas (Beleza et. al, 2007; US Department of Energy, 2009, *apud* Carrinho, 2010).

Num estudo efetuado por Carrinho (2010) a um complexo municipal de piscinas de Rio Tinto, foi preparado um orçamento para a colocação de uma cobertura de bolhas em cada piscina (uma de 12,5×25m e outra de 12,5×10m), intermediado pela FLUIDRA, empresa multinacional dedicada ao fabrico e comercialização de aplicações para a utilização sustentável da água. Esta avaliação ditou que o investimento inicial para a aquisição de duas coberturas (com as dimensões das respetivas piscinas) seria de 37148,6 €, que se pouparia de eletricidade 129712,0 kWh por ano, e entre 237716,4 kWh e 263385,4 kWh de gás natural. Em termos monetários, haveria uma redução anual de 10856,3 € nas despesas de eletricidade e entre 11885,8 € e 13169,3 € nas despesas de gás natural. É de referir ainda que estas coberturas teriam um tempo médio de vida a rondar os 5 anos, que o tempo de retorno do investimento seria de 1,4 anos, o VAL rondaria os 82139,2 € e a TIR os 75,5%, o que revelou ser um ótimo investimento em termos económicos.

2.4. Medidas típicas utilizadas para melhorar a eficiência energética em piscinas cobertas

Existem várias medidas que podem e devem ser implementadas para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos com a energia em complexos com piscinas interiores.

Segundo BRECSU (1998), é essencial, em cada instalação, criar um plano de gestão de energia, com o apoio da administração, onde se estabeleçam metas de eficiência energética e se definam medidas de baixo custo como as que se seguem:

- Rever as normas de iluminação, aquecimento e ventilação e calcular durante quanto tempo esses serviços estão em funcionamento, para que seja possível adaptar o uso às necessidades (os sensores de movimento, por exemplo, permitem evitar desperdício de energia elétrica através da redução da luminosidade quando há poucos utentes);
- Garantir que pequenos requisitos, tais como a limpeza de determinados espaços, não impliquem o funcionamento do restante sistema;
- Certificar-se de que as temperaturas da nave e da água das piscinas são apropriadamente reguladas e frequentemente verificadas;
- A ventilação deve decorrer em valores baixos e ser aumentada apenas quando a infraestrutura se encontrar com muitos utentes, devendo ser desligada durante a noite, à exceção dos sistemas de ventilação da piscina;
- Os equipamentos de poupança de energia deverão ser usados corretamente (as coberturas das piscinas, por exemplo, deverão ser colocadas o mais rápido possível após a saída dos nadadores);
- Deverá ser feita uma monitorização constante dos custos de água e energia, a fim de controlar o consumo e reduzir o desperdício;
- Realizar manutenções apropriadas e eficientes aos equipamentos;
- Deve haver um plano de investimento a longo prazo, em piscinas já existentes (onde estejam agendadas remodelações), e fazer-se a atualização do manual de operação e manutenção, incorporando novos equipamentos e respetivas rotinas de operação e manutenção;
- Para os sistemas de aquecimento, as caldeiras de alta eficiência (preferencialmente as de condensação) são uma boa solução, pois permitem poupanças substanciais de energia;
- Instalação de unidades de cogeração, uma vez que normalmente são eficientes em termos de custo em piscinas de grandes dimensões. Na avaliação dos seus custos e benefícios, devem incluir-se as manutenções de rotina e as revisões maiores;

- Utilizar coberturas nas piscinas para reduzir as perdas térmicas da água, durante o período em que estas se encontram fechadas ao público, evitando a necessidade de ventilação à noite e reduzindo as despesas de aquecimento e de eletricidade (tal como já foi referido na subsecção anterior);
- Instalação de coletores solares para auxiliar a produção de energia térmica para o aquecimento das AQS.

3. ESTUDO DE CASO: COMPLEXO DE PISCINAS RUI ABREU

3.1. Caracterização do complexo

O CPRA trata-se de uma infraestrutura desportiva moderna, situada na freguesia de Eiras (concelho de Coimbra), que está preparada e equipada para a realização de natação de lazer, formação e competição, assim como para a prática de polo aquático. Este espaço foi inaugurado a 5 de Setembro de 2004, no âmbito do projeto *Eurostadium*, do qual resultou a construção de muitas outras infraestruturas na cidade de Coimbra. Deve a sua designação à memória do falecido nadador português Rui Abreu, antigo campeão nacional e nadador olímpico nos jogos de 1976 e 1980. Encontra-se aberto ao público todos os dias da semana exceto aos domingos. De 2^a a 6^a feira, o CPRA tem um horário de funcionamento entre as 7h30 e as 22h30, enquanto aos sábados abre à mesma hora mas encerra às 18h.

A gestão, administração e manutenção deste espaço está a cargo da Câmara Municipal de Coimbra. Na Figura 3.1 é apresentado o aspeto exterior da fachada principal do CPRA, orientada para oeste.



Figura 3.1 - Vista exterior da entrada do CPRA.

O edifício em estudo possui duas piscinas, uma delas de 25×21 metros, com uma profundidade constante de 1,8 metros (piscina desportiva), e outra de 21×10,5 metros, com uma profundidade compreendida entre os 0,7 e os 1,1 metros (piscina de aprendizagem).

Para além das duas piscinas mencionadas, o edifício contém ainda balneários e vestiários masculinos e femininos, salas de controlo anti *doping*, salas de controlo e supervisão das piscinas, um gabinete médico, algumas áreas técnicas e administrativas, uma bancada com capacidade para 200 espectadores e outra amovível para 80 nadadores, que costuma ser utilizada durante competições de natação.

Todos os equipamentos e divisões referidos anteriormente estão distribuídos por 3 pisos.

No piso -1 encontra-se a chamada área técnica principal, onde estão instalados os diversos mecanismos de distribuição e de tratamento de água, como filtros, sistemas de tratamento por ultravioleta, bombas de pressurização, bombas doseadoras, permutadores de calor, tanques de compensação, reservatórios de cloro, coletores de água, entre outros.

Logo no nível acima, piso 0, encontram-se a receção, as duas piscinas (desportiva e de aprendizagem), os diversos gabinetes técnicos, desportivos e administrativos, os vestiários e balneários, o corredor de acesso aos vestiários e balneários, uma parte da bancada e uma pequena área técnica, onde estão instaladas as caldeiras.

Por fim, no piso 1, pode encontrar-se a parte superior da bancada, o espaço onde era previsto ser instalado um bar de apoio e mais uma área técnica, onde estão instaladas as unidades de tratamento de ar (UTA) e os ventiladores de extração. Ainda neste piso, mas na parte exterior do edifício (terraço), existem três aparelhos de ar condicionado, dois deles destinados a servir os gabinetes e, o outro, o bar de apoio. Como o bar não se encontra em funcionamento, por falta de condições, esse aparelho de ar condicionado está permanentemente desligado.

3.2. Metodologia

Inicialmente foi realizada uma visita ao Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra pelo facto de este se tratar de um dos melhores complexos de piscinas do país, apresentando uma vasta variedade de equipamentos, e, também, por possuir espaços técnicos mais amplos e fáceis de visualizar, servindo assim de referência. Posteriormente visitou-se o CPRA, objeto de estudo da presente dissertação, onde foram observados os equipamentos existentes, os principais circuitos de água, os circuitos térmicos e também os sistemas de

ventilação existentes, permitindo assim elaborar um esquema de princípio simplificado para facilitar a análise dos mecanismos instalados.

Para se proceder ao estudo propriamente dito, foram disponibilizados, por parte dos responsáveis pelos complexos de piscinas cobertas administrados pela Câmara Municipal de Coimbra, alguns dados correspondentes aos consumos de energia elétrica, gás natural, água e ainda o número de utentes que têm frequentado o CPRA. Neste tipo de estudos, o ideal é analisar os consumos e custos de energia referentes aos últimos três anos (neste caso seriam 2012, 2013 e 2014) para se conseguir uma maior robustez e segurança nos resultados, no entanto tal não foi possível pois os registos de alguns anos ou estavam incompletos ou não existiam.

Com os dados disponíveis, e depois de serem previamente tratados e organizados em folhas de cálculo Excel[®], realizou-se uma análise à evolução mensal e anual dos mesmos, identificando-se as causas para as oscilações identificadas, tendo em conta alguns factos transmitidos pelos responsáveis do CPRA. Foram calculados ainda alguns indicadores energéticos e comparados com valores de referência encontrados na literatura.

Posteriormente procedeu-se a uma desagregação de consumos por aparelho para se perceber se os equipamentos estão nas melhores condições e em que cargas diárias funcionam normalmente.

Por fim, foi estudada a implementação de um sistema de cogeração e discutidos os resultados de toda a análise efetuada, assim como indicadas propostas que visam melhorar o desempenho energético do edifício.

3.3. Evolução do número de utilizadores do CPRA

De forma a perceber-se qual tem sido a utilização das piscinas do CPRA, foram elaborados gráficos, a partir dos dados fornecidos pelos responsáveis do complexo, que contemplam a quantidade mensal e anual de utentes do espaço nos anos de 2013 e 2014. Esta análise permite verificar igualmente se os limites máximos de ocupação impostos por lei estão ou não a ser cumpridos. A Figura 3.2 mostra a evolução do número de utentes registada entre 2013 e 2014.

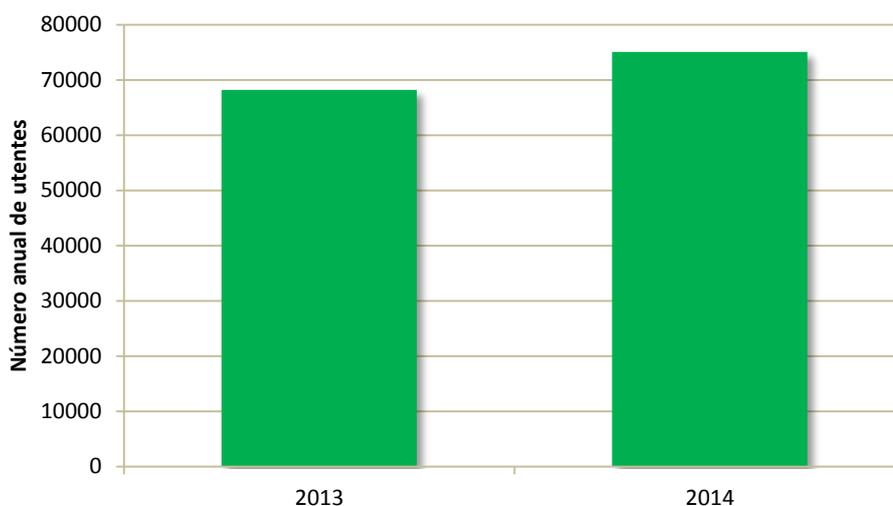


Figura 3.2 - Número de utentes nos anos 2013 e 2014.

A partir da análise da figura 3.2, nota-se um pequeno crescimento na quantidade de utilizadores do complexo, passando de 68198 em 2013 para 78114 em 2014, podendo este ser um indicador positivo relativamente à qualidade do serviço prestado e às condições que o edifício apresenta.

De maneira a percebermos quais as épocas do ano em que as piscinas costumam registar maior ou menor afluência de público, foi elaborado um gráfico com a distribuição mensal de utentes, representado na Figura 3.3.

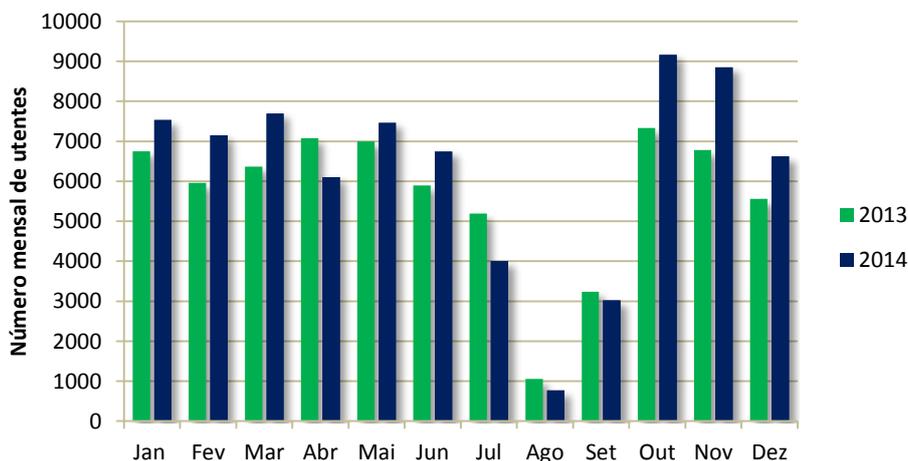


Figura 3.3 - Evolução do número mensal de utentes nos anos de 2013 e 2014.

Observando este último gráfico, é bem perceptível que nos meses de Julho, Agosto e Setembro há menos público a frequentar as piscinas, devido ao facto de muita gente se encontrar de férias e decidir ausentar-se da cidade ou então preferir frequentar espaços ao ar livre. É de salientar também que, durante o verão, o CPRA costuma encerrar durante duas

semanas de forma a possibilitar a limpeza das piscinas, onde a água existente é substituída na sua totalidade por água nova. Durante esse período é feita igualmente a manutenção dos equipamentos existentes no complexo, substituídas lâmpadas danificadas, colocados azulejos em falta no interior das piscinas e realizadas outras modificações e reparações consideradas necessárias.

Relativamente aos períodos com maior afluência, destacaram-se os meses de outubro e novembro em 2014 e de abril, maio e outubro em 2013, embora a diferença para os restantes meses não seja assim tão grande, tirando a época de verão devido às razões apresentadas anteriormente.

De forma a apurar se o regulamento do CPRA, relativo ao número máximo de utilizadores diários das piscinas, está a ser cumprido, construiu-se um gráfico com a distribuição média diária de utentes em cada mês, nos dois anos em análise, que vem expressa na Figura 3.4.

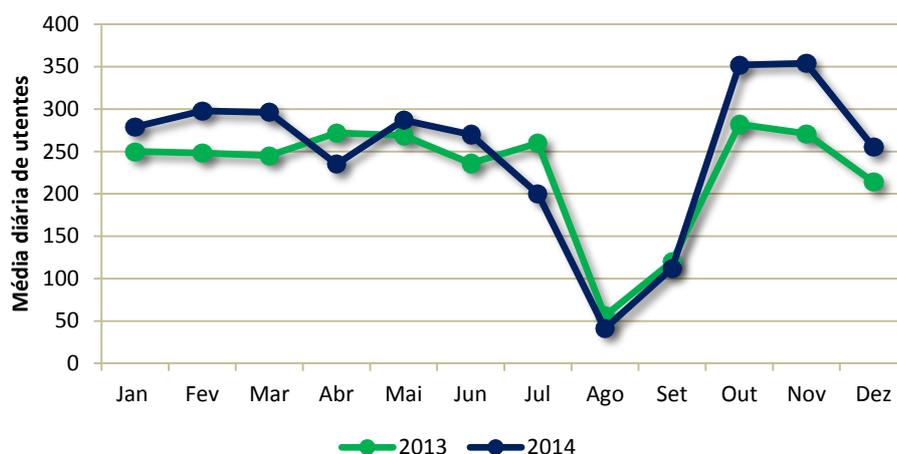


Figura 3.4 – Evolução mensal do número médio diário de utentes nos anos de 2013 e 2014.

Segundo o regulamento do CPRA, que tem por base a norma NP EN 15288-2, a Diretiva CNQ 23/93 e o Decreto-Regulamentar n.º 5/97 de 31 de março, a lotação máxima diária permitida no tanque desportivo é de 700 pessoas, enquanto no tanque de aprendizagem é de 352 pessoas. Portanto, a capacidade máxima diária para utentes no CPRA está fixada nos 1052. Posto isto, e analisando o gráfico anterior, é fácil perceber que os limites foram respeitados nos anos em análise, pois a média diária de utentes não passou dos 354. Nos próximos anos seria interessante que se conseguisse aumentar a quantidade de nadadores a frequentar o espaço, de forma a tirar melhor partido das condições existentes no local e tentar

melhorar a rentabilidade do complexo, já que há uma grande margem de manobra entre a lotação verificada atualmente e a lotação máxima permitida.

3.4. Consumos de água e energia

Os dados aqui apresentados, relativos aos consumos de energia (eletricidade e gás natural) e de água, foram fornecidos pelos responsáveis do complexo em análise e tratados posteriormente numa folha Excel[®].

Resolveu então fazer-se uma análise prévia aos consumos de gás natural, eletricidade e água para averiguar se têm ocorrido grandes variações de consumo de ano para ano e em que períodos dos diferentes anos em análise houve uma maior utilização destes recursos, tentando ao mesmo tempo encontrar justificações que expliquem certas diferenças.

3.4.1. Gás natural

Em relação ao gás natural, foram disponibilizadas faturas de 2013 e de 2014. O ideal seria analisarem-se os 3 anos consecutivos mais recentes de consumos, de maneira a termos uma melhor confiança relativamente à representatividade dos dados, ou seja, se o histórico na alteração de consumos foi ou não constante ao longo dos anos de existência do complexo. No entanto, dois anos já permitem caracterizar a evolução das práticas energéticas desenvolvidas no edifício em estudo. Na Figura 3.5 pode visualizar-se a quantidade de gás natural consumida nos últimos dois anos (2013 e 2014) no CPRA.

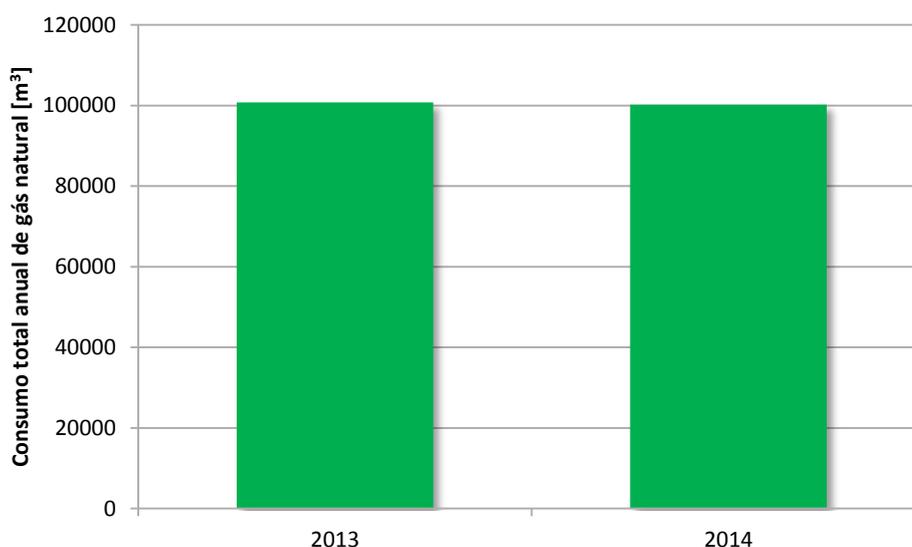


Figura 3.5 - Evolução do consumo anual de gás natural entre 2013 e 2014.

Pela análise da Figura 3.3 dá para perceber à primeira vista que o consumo de gás natural foi praticamente o mesmo durante os anos em causa, não se registando poupanças significativas, ainda que no ano de 2014 o valor seja ligeiramente mais baixo do que em 2013 (100200 m³ e 100729 m³, respetivamente). De forma a apurar qual foi a distribuição dos consumos pelos diferentes meses do ano apresenta-se a Figura 3.6.

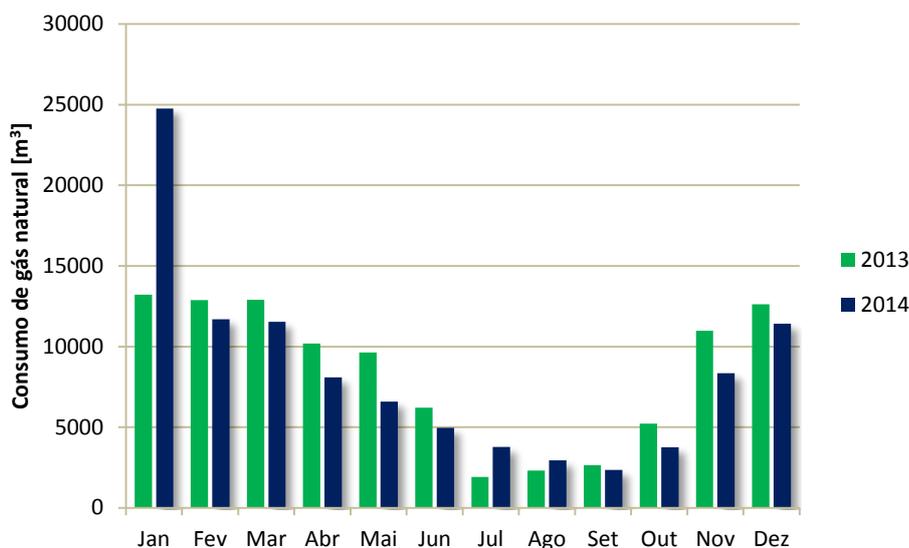


Figura 3.6 - Evolução do consumo mensal de gás natural nos anos 2013 e 2014.

Da análise deste gráfico, referente ao gás natural, são bem evidentes as variações de consumo, tanto em 2013 como em 2014, causadas sobretudo pela grande variação da temperatura registada ao longo do ano no exterior do complexo, que está intrinsecamente associada às características climáticas distintas que cada estação do ano apresenta. Assim, tal como seria expectável, o maior consumo de gás natural ocorre nos meses de inverno por se verificarem temperaturas mais baixas no exterior do edifício e haver uma maior necessidade de aquecer o espaço interior e a água da piscina. No entanto pode observar-se que no mês de janeiro de 2014 ocorreu uma subida anómala no valor de gás natural consumido, em comparação com o mesmo mês do ano anterior, que se deve a acertos feitos pelo operador que realizou as leituras.

Nos meses de verão as necessidades de aquecimento da água e do espaço são bem menores devido às temperaturas exteriores serem mais elevadas e, conseqüentemente, favoráveis à poupança de gás natural. Também o facto de existirem menos utilizadores durante esse período do ano poderá ajudar a explicar o decréscimo dos consumos energéticos, em particular os do gás natural.

3.4.2. Eletricidade

Relativamente ao consumo de eletricidade, só foram facultados, por parte dos responsáveis pelo CPRA, dados correspondentes ao ano de 2014, pelo que não é possível avaliar a evolução da *performance* de consumo do complexo nos últimos anos. Ainda assim, tal como se fez com o gás natural, construiu-se um gráfico com os consumos mensais ao longo do ano de 2014, ilustrado na Figura 3.7, de maneira a observar-se quais os meses ou períodos que registaram maiores e menores consumos.

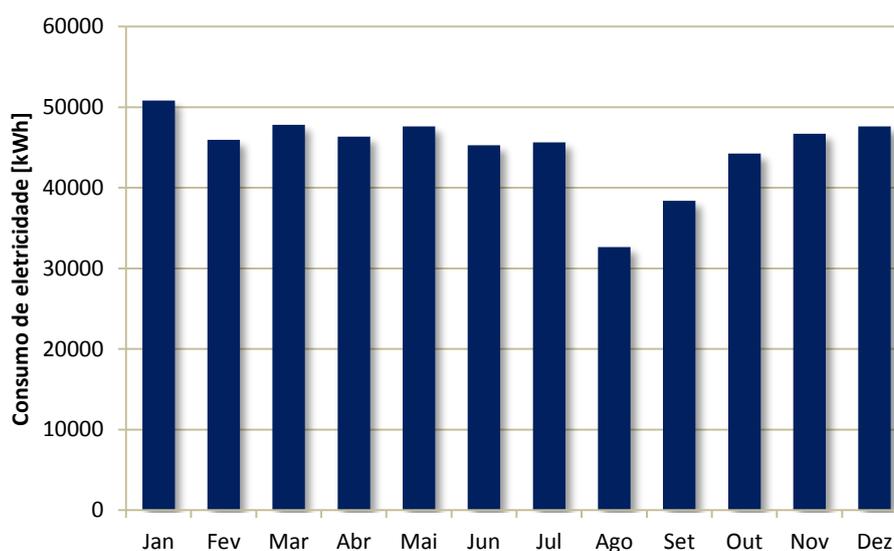


Figura 3.7 - Consumos mensais de eletricidade em 2014.

Observando os consumos ao longo do ano de 2014, percebe-se que não há grandes variações, excetuando os meses de agosto e setembro que apresentam valores mais baixos que todos os outros. A menor necessidade de iluminação interior do edifício nos meses de verão, aliada ao encerramento do mesmo para manutenção em agosto, pode explicar esta quebra no consumo de eletricidade. Durante todo o ano o complexo consumiu 541152 kWh de energia elétrica. Como não existe nenhum histórico recente de consumos elétricos anuais do CPRA, a análise efetuada não é tão representativa quanto a do gás natural.

3.4.3. Água

Desta componente foram disponibilizadas faturas referentes aos anos de 2012, 2013 e 2014. No entanto faltavam faturas de alguns meses do ano de 2012, o que impossibilitou a contabilização do consumo anual de água nesse ano. Como tal resolveu-se

excluir da análise os valores existentes desse ano. Na Figura 3.8 pode visualizar-se a quantidade de água consumida no CPRA em 2013 e 2014.

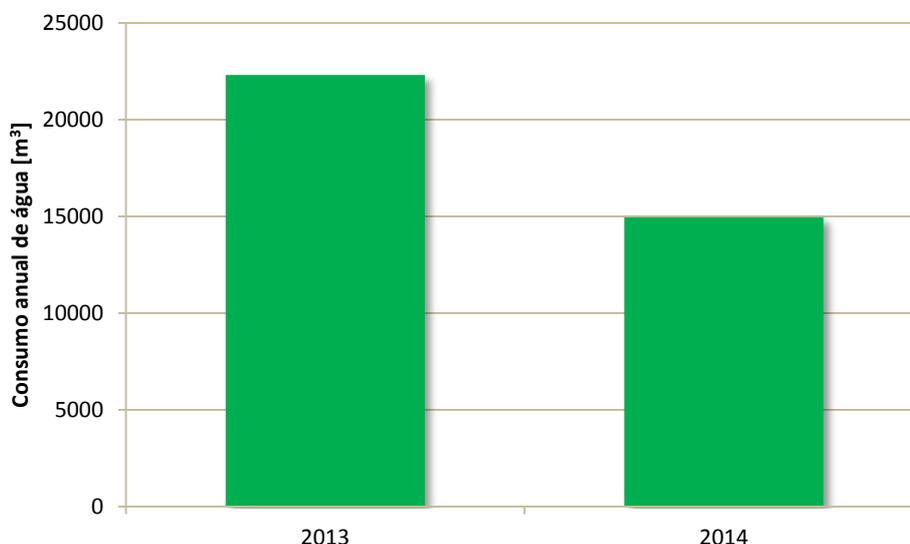


Figura 3.8 - Evolução do consumo de água nos anos de 2013 e 2014.

O gráfico anterior mostra que houve um decréscimo bastante significativo, de 2013 para 2014, no que toca ao consumo de água, passando-se de 22304 m³ para 14953 m³. Esta diminuição acentuada é um indicador de que podem ter sido aplicadas ações de poupança. Para se perceber melhor quais os meses que mais contribuíram para esta mudança, foi construído um gráfico com a evolução do consumo mensal de água durante os dois anos em análise, representado na Figura 3.9.

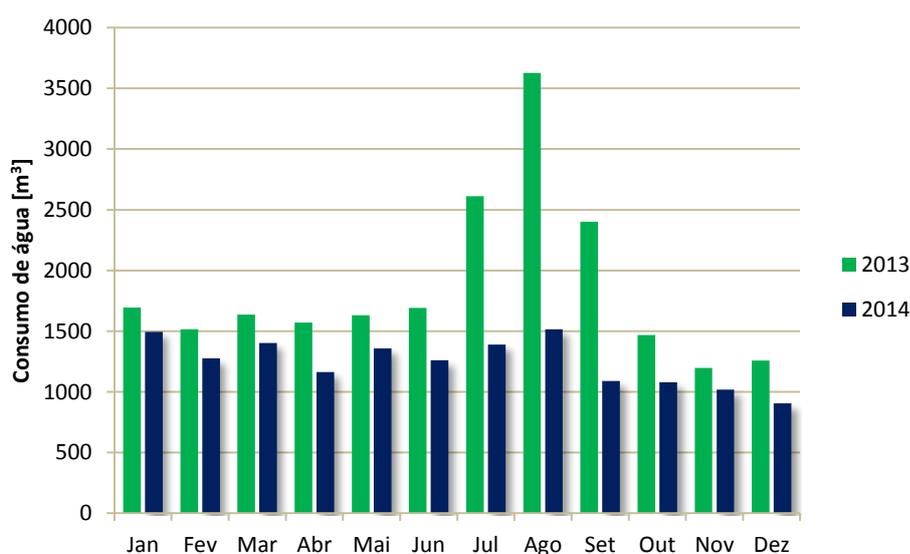


Figura 3.9 - Evolução do consumo mensal de água nos anos 2013 e 2014.

Em todos os meses de 2014 houve um decréscimo no consumo de água comparativamente com o ano anterior. O maior decréscimo aconteceu nos meses de julho, agosto e setembro, e deveu-se sobretudo, segundo o que foi transmitido pelos responsáveis do CPRA, à iniciativa de se desligar o sistema de rega dos espaços relvados situados no exterior do edifício. Esta medida revelou-se uma grande mais-valia na poupança de água. Tanto em 2013 como em 2014, o mês em que se gastou mais água foi agosto, o que está diretamente relacionado com as ações de manutenção do complexo e de renovação total da água das piscinas.

3.5. Contabilização do consumo das energias térmica e elétrica

Tendo a informação relativa aos consumos de eletricidade e de gás natural de 2014, será agora interessante verificar qual delas teve um maior impacto no consumo energético total da instalação. Para elaborar essa análise comparativa foi necessário converter, em primeiro lugar, o consumo de gás natural (GN), conhecido em m^3 , para as mesmas unidades da eletricidade (kWh). Isso consegue-se de uma forma aproximada recorrendo à Equação 3.1, onde a massa volúmica do gás natural (ρ_{GN}) e o respetivo poder calorífico inferior (PCI_{GN}) são, segundo o Despacho n.º 17313/2008, 0,8404 kg/m³N e 45,1 MJ/kg, respetivamente. A forma mais correta de contabilização seria utilizando o poder calorífico superior em vez do poder calorífico inferior, mas isso requeria saber-se outras componentes como o fator de correção por temperatura e o fator de correção por pressão.

$$GN [kWh] = GN [m^3] \times \rho_{GN} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times PCI_{GN} \left[\frac{MJ}{kg} \right] \times \frac{10^3 kJ}{1 MJ} \times \frac{1 kWh}{3600 kJ} \quad (3.1)$$

De seguida pode observar-se, na Figura 3.10, a evolução do consumo de energia elétrica e de energia térmica referente a 2014. Como só foram disponibilizados dados de eletricidade referentes a esse ano, não é possível estimar a evolução das porções entre 2013 e 2014, apesar de possuir as faturas de gás natural desses anos.

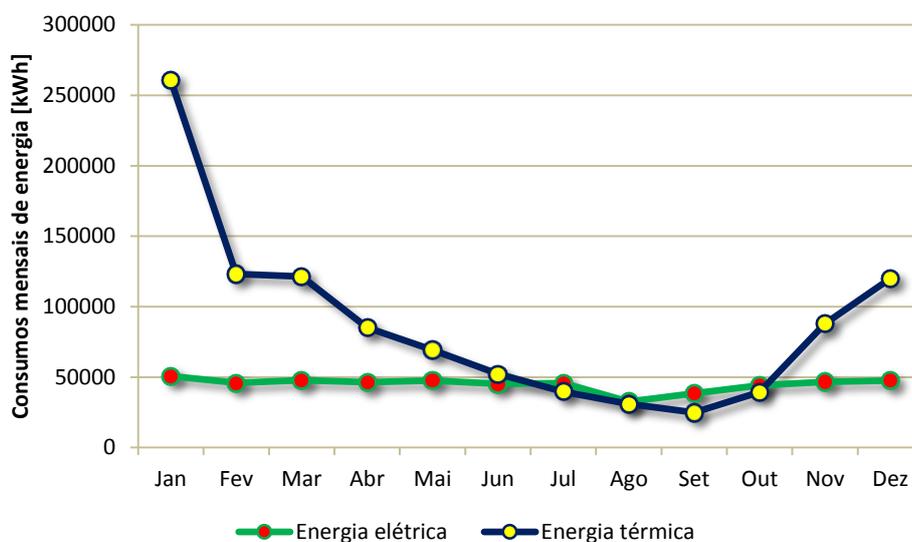


Figura 3.10 – Evolução mensal comparativa do consumo de energia em 2014.

O consumo de eletricidade não sofre grandes alterações ao longo do ano, a não ser em agosto e setembro devido à menor necessidade de utilização de luz artificial, comparativamente com outras alturas do ano, e pela redução do número de utilizadores. Já o consumo de gás natural, tal como foi referido no subcapítulo 3.4.1., varia bastante ao longo do ano devido, principalmente, às diferentes características térmicas das várias estações. Comparando os dois tipos de energia, o consumo de energia elétrica apenas ultrapassa o consumo de energia térmica em julho, agosto, setembro e outubro devido às necessidades térmicas do complexo terem sido menores durante esse período, tanto pelas temperaturas mais altas registadas no exterior como pelo menor número de utentes.

Em termos globais, as percentagens de energia consumida pelo complexo durante 2014 vêm representadas na Figura 3.11.

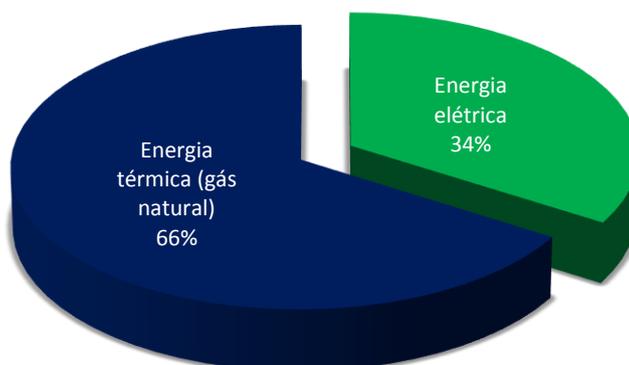


Figura 3.11 - Distribuição percentual dos consumos de energia térmica e elétrica.

Ao todo, a instalação consumiu 1596092 kWh de energia em 2014, repartida em 541152 kWh de energia elétrica e 1054940 kWh de energia térmica.

3.6. Contabilização da energia primária consumida

A quantificação da energia primária consumida é um parâmetro importante na medida em que ajuda a construir indicadores de eficiência energética que permitem avaliar se o edifício em questão cumpre ou não os limites estabelecidos pelo RSECE.

A eletricidade é uma forma de energia secundária, pelo que é necessário saber-se qual o rendimento elétrico médio ($\eta_{\text{elétrico}}$) das centrais termoelétricas, que utilizam fontes de energia primária para a produção de energia elétrica, para que esta possa ser convertida em energia primária. Já o gás natural é por si só uma forma de energia primária, não sendo necessário convertê-lo.

Para o cálculo da energia primária consumida recorreu-se novamente ao Despacho n.º 17313/2008, onde, segundo o anexo II da Diretiva 2006/32/CE, o $\eta_{\text{elétrico}} = 0,4$, o que significa que 1 kWh de energia elétrica = 215×10^{-6} tep. Relativamente ao gás natural, e ainda no mesmo documento, 1 tep = 41868 MJ de gás natural.

Na tabela 3.1 pode observar-se a quantidade de energia primária consumida pelo CPRA.

Tabela 3.1 - Quantidade de energia primária consumida em 2014.

Energia	2013			2014		
	kWh	tep	kgep	kWh	tep	kgep
Eletricidade	-	-	-	541152	116,3	116347,6
Gás natural	1060510	91,2	91187,4	1054940	90,7	90708,5
Total	-	-	-	1 596092	207,1	207056,1

Através da energia primária [kgep] calculada, foi estimado o IEE do complexo em estudo, que pode ser consultado no subcapítulo 3.8.

3.7. Despesas de água e energia

Os custos de energia e de água são uma parte fundamental para se perceber realmente qual o elemento do CPRA que mais contribui para o avolumar das despesas do

município de Coimbra, assim como para definir qual a componente em que é prioritário aplicar medidas de redução no consumo. O único ano para o qual existem dados de todos os elementos é o de 2014, por isso realizou-se uma análise conjunta aos custos desse mesmo ano, de maneira a conseguir relacioná-los com os resultados obtidos anteriormente. Na figura 3.12 estão representados os custos anuais de gás natural, eletricidade e água, podendo observar-se que a componente que saiu mais cara foi a energia elétrica, seguida de perto pelo gás natural. Ao todo, as despesas fixas do CPRA, durante o ano de 2014, rondaram os 200000 €, repartidos em 85948 € para a eletricidade, 74395 € para o gás natural e 38336 € para a água. Isto significa que 81 % dos custos são de cariz energético (43 % em eletricidade e 38 % em gás natural), tal como mostra a Figura 3.13.

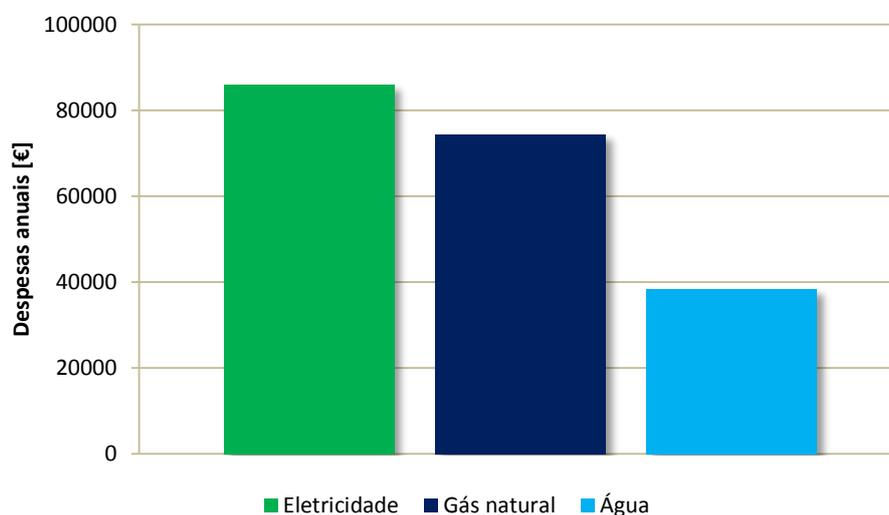


Figura 3.12 - Repartição das despesas totais do CPRA em 2014.

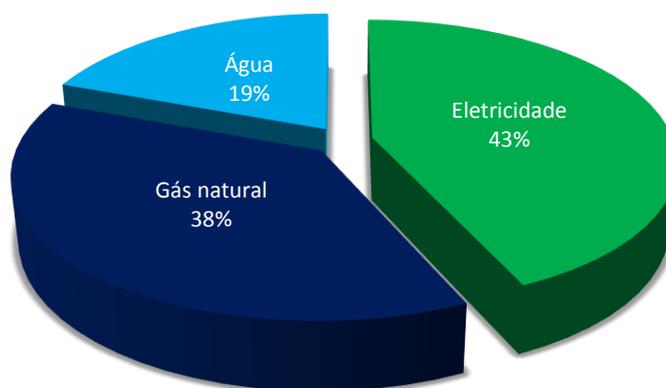


Figura 3.13 - Repartição percentual das despesas totais do CPRA em 2014.

Como a diferença de custos entre a eletricidade e o gás natural é relativamente pequena, deverá dar-se atenção a estas duas componentes no que toca a arranjar soluções de melhoria da eficiência energética.

De maneira a avaliar as variações das quantias pagas ao longo do ano de 2014, relativas aos consumos de água e energia, apresenta-se de seguida a Figura 3.14, relativa aos custos mensais.

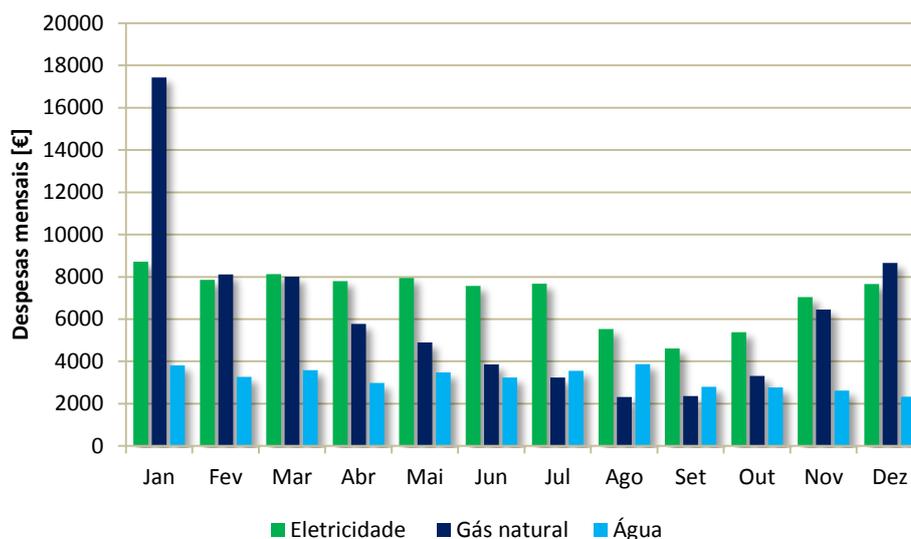


Figura 3.14 - Despesas mensais de eletricidade, gás natural e água em 2014.

Analisando o gráfico representado na figura anterior, referente às despesas mensais de 2014, é visível que os custos relativos ao gás natural vão variando bastante, proporcionalmente ao respetivo consumo, e que os custos de eletricidade e água têm uma maior constância de valores, igualmente proporcionais ao seu consumo. Excetando os meses de inverno, onde os custos de gás natural foram os mais altos devido às baixas temperaturas registadas no exterior do edifício, a eletricidade foi a componente que mais despesa provocou. Os custos com a água revelaram-se os mais baixos em comparação com a eletricidade e o gás natural, excetuando nos meses de verão, onde o consumo de gás natural e o respetivo custo baixaram bastante devido ao menor número de utilizadores registado nessa altura do ano e às altas temperaturas exteriores. Também o facto de se proceder à renovação da água das piscinas e à manutenção do restante complexo, entre julho e agosto, contribui bastante para que os custos aumentem durante esse período.

3.8. Indicadores

Conhecendo agora todos os valores dos consumos e das despesas anuais verificadas no CPRA, procedeu-se ao cálculo de uma série de indicadores que servirão tanto para comparar com indicadores encontrados em outros estudos, referidos no subcapítulo 2.3., como para servir de termo de comparação para outros trabalhos semelhantes. Os primeiros indicadores incidem sobre consumos e custos de energia por utente e são apresentados na Tabela 3.2. É de salientar que os custos totais aqui referidos, tanto na Tabela 3.2 como nas restantes tabelas de indicadores, não englobam as despesas com os produtos químicos utilizados no tratamento da água das piscinas nem as despesas referentes aos recursos humanos existentes no edifício.

Tabela 3.2 – Consumos e custos específicos anuais de água e de energia por utente.

Consumos e custos específicos	2013	2014
Consumo de eletricidade [kWh]/ utente.ano	-	7,2
Consumo de gás natural [kWh]/ utente.ano	15,6	14,0
Consumo de energia [kWh]/ utente.ano	-	21,2
Consumo de água [m ³]/ utente.ano	0,3	0,2
Custo de eletricidade [€]/ utente.ano	-	1,1
Custo de gás natural [€]/ utente.ano	1,1	1,0
Custo de água [€]/ utente.ano	0,8	0,5
Custo total [€]/ utente.ano	-	2,6

Para além dos indicadores expostos na tabela anterior, calcularam-se outros tendo em conta diversas áreas do CPRA, como a área útil total do complexo (ou seja, todos os espaços que são climatizados e iluminados), a área de superfície de piscinas e a área total envidraçada. As áreas úteis e a área de superfície de piscinas foram estimadas a partir das plantas do complexo, disponibilizadas pelos responsáveis. As plantas dos pisos 0 e 1 encontram-se disponíveis no Anexo A. Não foi possível anexar também a planta do piso -1 porque esta apenas estava disponível em formato papel, à escala 1:100. A contabilização das áreas envidraçadas foi efetuada através de medições no edifício. Na tabela 3.3 estão mencionados os valores medidos, tanto de área útil como de área bruta.

Tabela 3.3 - Áreas brutas e áreas úteis do CPRA

Divisões	Área bruta [m²]	Área útil [m²]
Piso -1	1577,2	740,0
Piso 0	2732,5	2325,2
Piso 1	1301,5	352,4
Total	5611,2	3417,6
Balneários	602,5	512,5
Piscinas	745,5	745,5
Bancada	225,0	200,0
Envidraçado	588,6	-
Cobertura	2400,0	-

Seguidamente, na Tabela 3.4, são apresentados indicadores de consumo anual de energia e água por área útil total, área de superfície de piscinas e área total envidraçada.

Tabela 3.4 - Indicadores de consumo de energia e de água para os anos de 2013 e 2014.

Indicadores de consumo	2013	2014
Eletricidade/ Área CPRA [kWh/m ² .ano]	-	158,3
Gás natural/ Área CPRA [kWh/m ² .ano]	310,3	308,7
Energia/ Área CPRA [kWh/m ² .ano]	-	467,0
Eletricidade/ Área superfície de piscinas [kWh/m ² .ano]	-	725,9
Gás natural/ Área superfície de piscinas [kWh/m ² .ano]	1422,5	1415,1
Água/ Área superfície de piscinas [L/m ² .ano]	29918,4	20057,9
Água/ Áreas superfície de piscinas. utente [L/m ² .utente.ano]	0,44	0,27
Eletricidade/ Área envidraçada [kWh/m ² .ano]	-	919,5
Gás natural/ Área envidraçada [kWh/m ² .ano]	1801,9	1792,4
Energia/ Área envidraçada [kWh/m ² .ano]	-	2711,9

Foi ainda calculado o IEE proposto pelo RSECE no sentido de se perceber se o consumo específico de energia primária do edifício estudado se encontra acima ou abaixo do IEE_{referência} estabelecido por esse documento. Tal como foi referido no subcapítulo 3.6, o cálculo do IEE_{simplificado} deve ser efetuado utilizando a média dos consumos de energia faturados ao longo de três anos consecutivos, no entanto, como só foi possível ter conhecimento do consumo de energia total do ano de 2014, considerou-se que o valor consumido durante esse ano é representativo dos últimos três anos. Esta simplificação

permitiu então calcular o indicador referido, ainda que este valor deva ser visto com algum cuidado, dada a simplificação que se fez. O valor de $IEE_{\text{simplificado}}$ a que se chegou foi de 60,6 kgep/ m².ano. Segundo o anexo X do RSECE, o valor limite referência para este tipo de edifícios é de 35 kgep/ m².ano, o que significa que o valor encontrado ultrapassa bastante o que está estabelecido pelo RSECE.

Também para as despesas de água e energia foram construídos alguns indicadores, que podem ser consultados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Indicadores de despesas anuais de energia e água.

Indicadores de despesa	2013	2014
Eletricidade/ Área CPRA [€/ m ² .ano]	-	25,1
Gás natural/ Área CPRA [€/m ² .ano]	21,6	21,8
Energia total/ Área CPRA [€/m ² .ano]	-	46,9
Eletricidade/ Área superfície de piscinas [€/m ² .ano]	-	115,3
Gás natural/ Área superfície de piscinas [€/m ² .ano]	99,2	99,8
Água/ Área superfície de piscinas [€/m ² .ano]	76,0	51,4
Água/ Área superfície de piscinas.utente [€/m ² .utente.ano]	$1,1 \times 10^{-3}$	$0,7 \times 10^{-3}$
Total/ Área superfície de piscinas [€/ m ²]	-	266,5

Todos os indicadores calculados serão comparados e analisados mais pormenorizadamente na posterior discussão de resultados, subsecção 4.4.

4. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Uma das etapas mais importantes na caracterização energética de um edifício prende-se na desagregação dos consumos de energia por processos, para que se possa ter uma perceção mais realista sobre qual ou quais os mecanismos que estão a trabalhar de uma forma menos eficaz e, com esse conhecimento, serem aplicadas soluções que visem melhorar o desempenho energético do complexo. Nesse sentido, e para facilitar o entendimento do funcionamento do CPRA, criou-se um esquema de princípio simplificado, exposto na Figura 4.1, onde estão representados alguns dos equipamentos mais importantes.

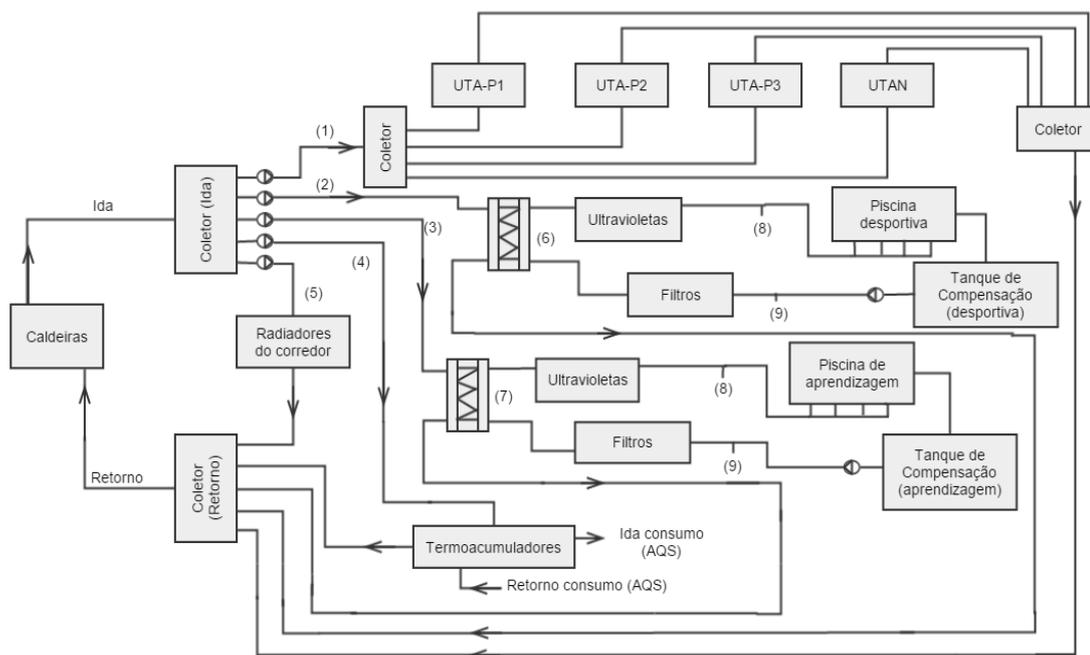


Figura 4.1 - Esquema de princípio simplificado dos circuitos de água quente do CPRA.

Legenda:

- | | |
|---|--|
| (1) Aquecimento do ar nas UTA; | (7) Permutador de calor da piscina de aprendizagem; |
| (2) Aquecimento da água da piscina desportiva; | (8) Local onde é feita a desinfecção com cloro e se corrige o pH da água das piscinas; |
| (3) Aquecimento da água da piscina de aprendizagem; | (9) Local onde se adiciona o floculante; |
| (4) Aquecimento das AQS; | ⊗ Bombas duplas, exceto a que bombeia água para os radiadores do corredor. |
| (5) Aquecimento dos radiadores do corredor; | |
| (6) Permutador de calor da piscina desportiva; | |

No Anexo B podem ser consultados os esquemas de princípio dos fluidos AVAC e dos circuitos hidráulicos das piscinas que foram facultados pelos responsáveis do edifício.

Foi realizado também um inventário dos equipamentos mais importantes em termos de potências elétrica e térmica, facilitando assim a contabilização dos consumos elétricos e térmicos de cada aparelho.

Tabela 4.1 - Inventário dos principais mecanismos existentes no CPRA.

Aparelho	Marca	Modelo	Número	P. elétrica [kW]/aparelho	P. térmica [kW]/aparelho
UTA (P1, P2 e P3)	CIAT	BCP 355	3	25,9	145
UTAN	CIAT	-	1	1,1	24
Ventiladores extração (Vex)	France Air	-	5	0,5	-
Ultravioletas	SITA	-	2	5,6	-
Bombas (p.desportiva)	PSH Pools	FD - 129H	4	5,5	-
Bombas (p. aprendizagem)	PSH Pools	FD - 128H	3	4	-
Bomba (p. desportiva)	Grundfos	UPSD 50-180 F 280	1	1	-
Bomba (p. aprendizagem)	Grundfos	UPSD 40-120 F 250	1	0,46	-
Bomba (termoacumuladores)	Grundfos	UPSD 50-180 F 280	1	1	-
Bomba (corredor)	Grundfos	UPSD 25-20 180	1	0,065	-
Bombas (UTA)	Grundfos	TPD 65-180/2	1	1,5	-
Permutador (p. desportiva)	ARSOPI THERMAL	-	1	-	269
Permutador (p. aprendizagem)	ARSOPI THERMAL	-	1	-	59,7
Caldeiras	ROCA	CPA 500	2	-	581,4
Termoacumuladores (AQS)	SICC	NSX/209	3	-	174
Ar condicionado	DAIKIN EUROPE NV	-	3	1	-
Radiadores	-	-	4	-	1,3
Projetores (nave)	-	-	18	0,4	-
	-	-	18	0,25	-

4.1. Desagregação dos consumos de energia elétrica

Tal como foi mostrado no capítulo 3, a eletricidade tem o maior peso (43 %) em termos de despesas totais do edifício, o que requer uma especial atenção aquando da formulação de medidas de melhoria. O CPRA é alimentado por uma linha trifásica de 400/230 V, a partir da rede de baixa tensão da EDP.

Os maiores consumidores de energia elétrica do CPRA são, pelo que foi transmitido, os motores das UTA, as bombas de circulação da água das piscinas, os ventiladores de extração e os aparelhos ultravioletas. No entanto, como os aparelhos ultravioletas são utilizados com pouca frequência, devido ao facto das suas lâmpadas terem um tempo de vida relativamente baixo e serem bastante dispendiosas, a sua quota de consumo torna-se menos relevante do que se estivessem ligados quase todos os dias.

Também a iluminação do complexo, especialmente a que está afeta à nave, tem uma influência relevante no consumo de energia elétrica, já que só aí existem 36 projetores (18 de 250 W e 18 de 400 W). No entanto, os projetores não estão o dia todo ligados e, mesmo no período em que se encontram em funcionamento, nem sempre estão a funcionar a 100%, dependendo, claro, do período do ano e das condições climatéricas. Tal facto percebe-se visto que a nave possui uma área envidraçada bastante considerável, o que permite, em condições atmosféricas normais, iluminar naturalmente o edifício na maior parte do período em que este se encontra aberto ao público. Como não se sabe a percentagem de projetores e da restante iluminação artificial que costuma funcionar, nem o número certo de horas por dia que trabalham, torna-se bastante complicado desagregar esta componente elétrica, pelo que não será considerada.

Ainda assim, segundo uma auditoria energética efetuada em 2009 pela ITeCons, e que vem referenciada num estudo de iluminação efetuado por Pereira (2013) ao CPRA, tal como foi referido no subcapítulo 2.3, concluiu-se que a iluminação neste edifício tinha um peso de 17,4 % no consumo elétrico e 11,7 %, no consumo global do edifício.

De seguida, estão expostos, na Tabela 4.2, os valores do consumo de energia elétrica estimados por hora e por dia, considerando que os equipamentos presentes funcionam durante 24 horas por dia, à exceção dos aparelhos de ar condicionado que servem os gabinetes, que só estão ligados mais ou menos 8 horas por dia, segundo foi transmitido por um técnico do complexo. Segundo as condições referidas anteriormente, o consumo diário de energia elétrica é de 2651,8 kWh/dia.

Tabela 4.2 - Consumos de energia elétrica horária e diária dos aparelhos.

Aparelho	Quantidade de aparelhos a funcionar	Potência elétrica [kW]/aparelho	Consumo horário [kWh]	Horas de funcionamento / dia	Consumo diário [kWh/dia]
UTA	3	25,9	77,7	24	1864,8
UTAN	1	1,1	1,1	24	26,4
Ventiladores extração	5	0,5	2,5	24	60
Bombas (p.desportiva)	3	5,5	16,5	24	396
Bombas (p.aprendizagem)	2	4	8	24	192
Bomba (p.desportiva)	1	1	1	24	24
Bomba (p.aprendizagem)	1	0,46	0,46	24	11,04
Bomba (termoacumuladores)	1	1	1	24	24
Bomba (corredor)	1	0,065	0,065	24	1,56
Bombas (UTA)	1	1,5	1,5	24	36
Ar condicionado	2	1	2	8	16
Total	21	47,6	111,8	-	2651,8

Se os aparelhos ultravioletas e todos os projetores estivessem a funcionar durante uma hora, em simultâneo com os restantes aparelhos, haveria um acréscimo de 22,9 kWh no consumo de eletricidade, o que, somado aos 111,8 kWh, representaria 17 % do consumo elétrico dessa mesma hora.

De maneira a verificar se os valores de consumos elétricos estimados e representados na Tabela 4.2 são válidos, foi feita uma leitura ao contador geral do CPRA num período de uma hora (entre as 15h30 e as 16h30). Como este valor foi medido num dia de verão, havia muito pouca atividade no complexo, o que significa que os consumos médios horários deverão ser maiores em outras alturas do ano do que os registados na leitura efetuada, principalmente de outubro até finais de maio, altura em que normalmente se regista uma maior afluência de utentes. É de salientar que tanto os projetores como os aparelhos ultravioletas estavam desligados durante a contagem. Na Tabela 4.3 estão representados os consumos de energia elétrica da leitura efetuada ao contador geral, a energia elétrica consumida por hora e também por dia, obtida a partir do valor de eletricidade total consumida em 2014 (considerando 365 dias por ano e 24 horas por dia), e ainda o valor de energia elétrica horária e diária consumida pelos aparelhos presentes na Tabela 4.2.

Tabela 4.3 - Comparação entre consumos estimados e medidos.

	Leitura efetuada ao contador geral	Valores a partir do total anual de 2014 do CPRA	Estimado
Consumo horário [kWh]	67,0	61,8	111,8
Consumo diário [kWh]	1608,0	1482,6	2651,8

Considerando que o valor obtido da leitura do contador geral seria afeto apenas aos equipamentos considerados na Tabela 4.2, isto significaria que no máximo os equipamentos estariam a trabalhar em média a 61 % da sua potência máxima. Se se admitisse que o valor de eletricidade total anual do edifício em estudo, em 2014, estivesse apenas relacionado com os equipamentos mais uma vez representados na Tabela 4.2, então estes trabalhariam num número de horas inferior ao estimado.

4.2. Desagregação dos consumos de energia térmica

Este tipo de desagregação de consumos torna-se uma tarefa bastante complicada visto que os equipamentos não trabalham sempre com as mesmas cargas ao longo do dia, devido à variação de algumas componentes como a utilização das piscinas e a humidade, o que requer o ajustamento permanente das necessidades de aquecimento e ventilação. De maneira a contornar esta limitação, efetuou-se uma desagregação simplificada de energia térmica, expressa nos próximos dois subcapítulos.

4.2.1. Estimativa da energia térmica gasta com AQS

Para tentar saber qual a representatividade, em termos de consumo, de alguns processos no sistema geral, resolveu estimar-se a quantidade de energia térmica gasta para aquecer as AQS e a energia consumida no processo de aquecimento da água que serve as duas piscinas. A forma como foi contabilizada a energia térmica gasta no aquecimento da água das piscinas vem expressa no subcapítulo 4.2.2.

Relativamente ao cálculo da quantidade de energia térmica utilizada para o aquecimento das AQS é necessário saber, em primeiro lugar, a quantidade de água gasta por cada utente, bem como algumas propriedades físico-químicas da mesma.

Segundo o artigo 14.º (Capítulo V) do Decreto-lei n.º 80/2006, cada pessoa gasta aproximadamente 40 litros de água por banho numa casa habitada, a uma temperatura de 60 °C. Admitindo que o valor anterior é válido também para utentes de piscinas cobertas e que todos os utilizadores do complexo tomam banho, consegue estimar-se o volume de AQS gasto anualmente. Multiplicando este volume pela massa volúmica da água a 60 °C (988 kg/m³), obtém-se o caudal da água ($\dot{m}_{\text{água}}$) consumida neste processo, necessária de seguida para o cálculo do calor sensível ($\dot{Q}_{\text{Sensível}}$) transmitido à mesma. A Equação (4.1) mostra todos os parâmetros que estão envolvidos nesse cálculo.

$$\dot{Q}_{\text{Sensível}} = \dot{m}_{\text{água}} \times c_{p \text{ água}} \times \Delta T \quad (4.1)$$

Segundo o Decreto-lei n.º 80/2006, a água da rede pública é disponibilizada a uma temperatura média anual (T_1) de 15 °C, devendo esta ser aquecida até se atingir uma temperatura (T_2) de 60 °C para satisfazer as necessidades térmicas de AQS, o que resulta num ΔT ($T_2 - T_1$) = 45 °C. Relativamente ao calor específico da água ($c_{p \text{ água}}$), utilizou-se um valor médio de 4,186 kJ/kg.°C. Posteriormente, os valores de $Q_{\text{Sensível}}$, obtidos para os anos 2013 e 2014, foram convertidos de kJ para kWh, utilizando a relação: 1 kWh = 3600 kJ.

Estes estão sintetizados na Tabela 4.4, onde também vem expressa a contribuição das AQS para o consumo de energia térmica global do edifício.

Tabela 4.4 - Água e Energia gastas no aquecimento das AQS.

Ano	AQS (dm ³)	AQS [kg]	$Q_{\text{sensível}}$ (AQS) [kJ]	Energia (AQS) [kWh]	Energia (AQS)/ Energia térmica total	Energia (AQS)/ Energia total
2013	2727920	2695185	507631349	141009	13%	-
2014	3004560	2968505	559110548	155308	15%	10%

Observando a tabela anterior, percebe-se que o consumo de energia térmica destinada às AQS subiu de 2013 para 2014, o que é natural dado o aumento verificado no número de utentes. Estes valores de energia representam aproximadamente 14 % do consumo de energia térmica global do complexo, o que é um valor assinalável, ainda que não represente certamente a maior fatia de energia térmica consumida no complexo em

estudo. Em termos de energia total, este valor ronda os 10 %, ainda que não hajam registos de anos anteriores para comparar.

4.2.2. Estimativa da energia térmica consumida no aquecimento da água das piscinas

O cálculo da parcela de energia térmica destinada ao aquecimento da água das piscinas foi baseado em algumas equações encontradas num manual de aplicações térmicas do grupo CIAT, CIATESA (2005), e em Almeida (2014). Segundo estas fontes, devem calcular-se:

- 1º - Taxas de evaporação da água das piscinas;
- 2º - Perdas de energia térmica por evaporação;
- 3º - Perdas de energia térmica por radiação;
- 4º - Perdas de energia térmica por convecção;
- 5º - Perdas de energia térmica por renovação de água;
- 6º - Perdas de energia térmica por transmissão de calor.

No entanto, como a diferença de temperaturas existente entre o ar da nave e a água das piscinas é na ordem dos 2 graus, sendo a temperatura do ar da nave superior, as perdas de energia térmica por convecção e por radiação consideram-se desprezáveis, tal como para a maioria das piscinas cobertas.

Para calcular a taxa de evaporação de água das piscinas do CPRA foram utilizadas duas equações simplificadas de Bernier, uma dirigida para quando a água das piscinas está em repouso, Equação 4.2, e outra para os períodos em que esta se encontra agitada pelo movimento dos banhistas, Equação 4.3.

$$M_e(\text{repouso}) = 16 \times S \times (W_e - \mu_a \times W_{as}) \quad (4.2)$$

$$M_e(\text{agitada}) = 133 \times n \times (W_e - \mu_a \times W_{as}) \quad (4.3)$$

Onde,

M_e – Taxa de evaporação [kg/h];

S – Área de superfície da piscina [m²];

W_e – Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água da piscina [kg(água)/ kg(ar)];

μ_a – Grau de saturação;

W_{as} – Humidade absoluta do ar saturado à temperatura do ar interior [kg(água)/ kg(ar)];

n – Número horário de utentes.

Os valores de W_e e W_{as} utilizados tiveram por base a Tabela 2, presente no manual de CIATESA (2005), considerando que a temperatura da água da piscina desportiva se encontra normalmente nos 27 °C e a de aprendizagem nos 29° C, estando a temperatura do ar 2 °C acima dessas temperaturas. O μ_a encontra-se normalmente nos 70 %.

Com os dados do número de utilizadores mensal que foram disponibilizados estimou-se a média de utentes horária, tendo em conta que as piscinas funcionam 15 horas por dia, durante 6 dias por semana, estando também encerradas durante duas semanas no verão. Dessa média atribuiu-se uma parte à piscina desportiva (12 nadadores/h) e outra à piscina de aprendizagem (5 nadadores/h), pois de outra forma seria impossível saber-se ao certo o número de utilizadores presentes em cada piscina por hora, o que inviabilizaria o cálculo da taxa de evaporação horária em períodos de agitação da água. Na tabela 4.5 vêm expressos os valores de evaporação calculados.

Tabela 4.5 - Taxas de evaporação da água das piscinas.

	Taxa de evaporação (M_e) [kg/h]		Taxa de evaporação (M_e) [g/ m ² .h]	
	Repouso	Agitada	Repouso	Agitada
Piscina desportiva	39,06	46,48	74,4	88,5
Piscina aprendizagem	19,58	23,27	88,8	105,5
Total	58,64	69,75	163,2	194,07

Tal como seria expectável, a taxa de evaporação horária de água no período em que as piscinas estão abertas ao público é superior à taxa de evaporação horária da água quando as piscinas se encontram encerradas. Os valores de M_e , tanto para água agitada como em repouso, por unidade de área de superfície de piscina, distanciam-se das taxas de evaporação encontradas e referidas na subsecção 2.3 (13 g/m².h para águas agitadas e 6,5 g/m².h para águas em repouso).

Por dia, evaporam das piscinas cerca de 1579 litros de água, repartidos em 529 litros quando a água está em repouso e 1050 litros quando esta se encontra agitada.

Sabendo as taxas estimadas anteriormente, pode então partir-se para o cálculo das perdas térmicas oriundas da evaporação da água das piscinas através da Equação 4.4, mais uma vez proposta por CIATESA (2005) e Almeida (2014).

$$Q_e = M_e \times c_v \quad (4.4)$$

Sendo,

Q_e – Perdas térmicas por evaporação [W];

c_v – Calor de vaporização da água [Wh/kg];

M_e – Taxa de evaporação [kg/h].

Para resolver a Equação 4.4 utilizou-se para a piscina desportiva o c_v a uma temperatura de 27 °C (2437 kJ/kg) e para a piscina de aprendizagem o c_v a uma temperatura de 29 °C (2433 kJ/kg). Os valores referidos anteriormente foram obtidos através de interpolações efetuadas a partir de valores encontrados em Cengel (2001).

Na Tabela 4.6 podem observar-se as perdas térmicas por evaporação calculadas.

Tabela 4.6 - Perdas térmicas por evaporação na piscina desportiva e na piscina de aprendizagem.

	Perdas térmicas por evaporação (Q_e)		
	[W]	[Wh]	[kWh]
Piscina desportiva	31465	709953	709,9
Piscina aprendizagem	15727	355009	355,01
Total	47193	1064962	1064,96

Para estimar as perdas térmicas por renovação de água, CIATESA (2005) sugere a Equação 4.5.

$$Q_r = V_r \times \rho_{\text{água}} \times c_{p\text{água}} \times (T_{\text{água piscina}} - T_{\text{água rede}}) \times \frac{1}{24 h} \quad (4.5)$$

Em que,

Q_r – Perdas térmicas por renovação de água [W];
 V_r – Volume diário de água de reposição [m³/dia];
 $\rho_{\text{água}}$ - Massa volúmica da água [kg/m³];
 c_p – Calor específico da água [Wh/kg.°C];
 $T_{\text{água piscina}}$ – Temperatura da água da piscina [°C];
 $T_{\text{água rede}}$ - Temperatura da água da rede [°C].

O V_r , segundo a Diretiva CNQ 23/93, pode oscilar entre 2 % e 5 % do volume total de cada piscina, consoante os resultados das análises efetuadas pelas autoridades sanitárias sejam ou não satisfatórios. Como não se sabe ao certo a percentagem de reposição normalmente imposta no CPRA, resolveu adotar-se um valor médio de 3,5 %. O c_p utilizado foi o proposto pela CIATESA (2005), 1,16 Wh/kg.°C, e a $T_{\text{água rede}} = 15^\circ\text{C}$, seguindo a informação do Decreto-lei n.º 80/2006.

Na Tabela 4.7 estão presentes as perdas de energia térmica diárias verificadas aquando da renovação de água nas duas piscinas do CPRA.

Tabela 4.7 - Perdas de energia térmica por renovação da água das piscinas.

	Perdas por renovação de água [Qr]		
	[W]	[Wh]	[kWh]
Piscina desportiva	19126	459022	459,02
Piscina aprendizagem	4681	112347	112,35
Total	23807	571369	571,37

Por último procedeu-se ao cálculo da energia térmica perdida por transmissão de calor usando a Equação 4.6, mais uma vez proposta por CIATESA (2005).

$$Q_t = C_t \times S_c \times (T_{\text{água piscina}} - T_{\text{água rede}}) \quad (4.6)$$

Onde,

Q_t – Perdas térmicas por transmissão de calor [W];
 C_t – Coeficiente de transmissão de calor por condução [W/m².°C];

S_c – Área de superfície de contacto [m^2];

$T_{\text{água piscina}}$ – Temperatura da água da piscina [$^{\circ}C$];

$T_{\text{sup. exteriores}}$ - Temperatura das superfícies exteriores [$^{\circ}C$].

Como C_t , utilizou-se novamente o valor aconselhado por CIATESA (2005), 1,50 $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$, visto não se ter um conhecimento aprofundado das características do material que reveste as paredes das piscinas. Para a $T_{\text{sup. exteriores}}$ admitiu-se um valor de 15 $^{\circ}C$. Considerou-se como S_c as 4 paredes de cada uma das piscinas e os respetivos fundos de piscina. Na tabela 4.8 podem ser consultados os valores estimados.

Tabela 4.8 - Perdas de energia térmica diárias por transmissão de calor.

	Perdas por transmissão de calor [Q_t]		
	[W]	[Wh]	[kWh]
Piscina desportiva	11750	282010	282,01
Piscina aprendizagem	5999	143964	143,96
Total	17749	425974	425,97

Analisando todos os valores calculados anteriormente, percebe-se que a maior parcela de perdas térmicas diárias está relacionada claramente com a evaporação da água das piscinas (1065 kWh), seguindo-se a renovação de água (571 kWh) e a transmissão de calor (426 kWh).. Ao todo, a energia térmica total gasta no aquecimento e na renovação da água das piscinas é de aproximadamente 2062 kWh/dia, o que representa cerca de 71 % do consumo diário de energia térmica e aproximadamente 47 % do consumo de energia total (térmica e elétrica) diária.

4.2.3. Análise à implementação de um sistema de cogeração

Pelos resultados obtidos durante este estudo, o CPRA demonstrou ter necessidades térmicas e elétricas bastante acentuadas ao longo do ano, tal como era expectável à partida. Este fator abre então a possibilidade de se implementar um sistema de cogeração, com o objetivo de diminuir os gastos com a energia. Um grande entrave nesta solução poderá ser a grande diferença de consumos verificada no verão relativamente aos

restantes meses do ano, o que poderá obrigar à paragem do sistema de cogeração pelo facto das necessidades de energia térmica não justificarem o seu funcionamento.

Para escolher o tipo de sistema de cogeração a utilizar é necessário verificar, em primeiro lugar, qual a tecnologia existente no mercado que mais se adequa às condições existentes no local. Segundo Ribeiro (2011), existem em termos de tecnologias convencionais de cogeração, as turbinas a gás, os motores alternativos ou de combustão interna (explosão e ignição) e as turbinas a vapor de contrapressão. Relativamente a tecnologias emergentes, e que estão ainda numa fase de maturação, existem as microturbinas e as pilhas de combustível. Para a escolha de uma destas tecnologias, a mesma fonte refere que deve ser escolhido um equipamento de cogeração cujo combustível que utiliza seja já o principal consumidor de energia da instalação em questão (que neste caso é o gás natural), quer seja por questões económicas ou por questões logísticas. No entanto, têm de ser verificadas outras componentes, como a gama de potência térmica necessária no edifício em questão, o rendimento elétrico, o tempo de vida útil do mecanismo de cogeração, se este funciona bem com cargas parciais, entre outros aspetos.

A tecnologia escolhida foi um motor alternativo de explosão a gás natural, cuja energia térmica é obtida através de uma caldeira de recuperação que, aproveita os gases de escape do motor. A escolha baseou-se no facto destes motores possuírem um elevado rendimento elétrico, algo que interessa para que se possa ter retorno financeiro mais rápido (a partir da eletricidade vendida à rede), estarem disponíveis na gama de potência térmica necessária, terem um bom desempenho com carga parcial (o que é importantíssimo já que há grandes variações nas necessidades térmicas do edifício ao longo do ano), terem um arranque rápido e pela manutenção poder ser feita por pessoal não especializado. A turbina a gás poderia ser outra solução possível, no entanto costuma ter um mau desempenho com cargas parciais e é por isso mais utilizada em indústrias com grandes e constantes necessidades energéticas.

A tecnologia escolhida tem, no entanto, algumas limitações, como é o caso dos custos de manutenção elevados, a emissão de poluentes, a necessidade de refrigeração, a emissão de ruído de baixa frequência e um tempo de vida útil relativamente curto. O problema do ruído de baixa frequência pode ser resolvido facilmente se o motor e os restantes aparelhos acessórios forem isolados numa espécie de cápsula que existe para esse propósito.

Passando então à análise económica propriamente dita, efetuaram-se alguns cálculos, cujas fórmulas se encontram no APÊNCICE A. Em primeiro lugar, foi necessário conhecer-se a gama de potências térmicas necessária para satisfazer as necessidades térmicas diárias do CPRA. Sabendo que o somatório das potências das duas caldeiras existentes é de 1162,8 kW e que deverão ter rendimentos a rondar os 90 %, consegue saber-se as necessidades térmicas de todos os equipamentos do CPRA, pois são elas que alimentam essas necessidades todos os dias. Sabendo este parâmetro, pesquisaram-se alguns motores que satisfizessem a potência térmica necessária para manter o funcionamento normal do edifício. Dentro das opções existentes, foram escolhidos, para ser testada a viabilidade económica de aquisição e utilização, dois motores de modelos diferentes da marca General Electric (Figura 4.2), cujas características básicas vêm resumidas na Tabela 4.9.



Figura 4.2 - Motor Jenbacher tipo 4 da General Electric (GE Power & Water, 2015).

Tabela 4.9 - Especificações térmicas e elétricas dos motores General Electric (adaptado de GE Power & Water, 2015)

Motores General Electric						
Modelo	P. térmica [kW]	P.elétrica [kW]	$\eta_{\text{térmico}}$	$\eta_{\text{elétrico}}$	η_{global}	Volume [m ³]
J 412	920	889	0,44	0,43	0,87	140,3
J 416	1224	1189	0,44	0,43	0,87	146,2

Dividindo a energia associada ao consumo total de gás natural no ano de 2014 pelo somatório das potências das caldeiras obteve-se o número médio de horas diárias que estas funcionaram.

Como a venda de energia elétrica proveniente da cogeração não compensa em qualquer altura do dia, devido à possibilidade de esta ser vendida abaixo do custo de mercado, decidiu testar-se duas soluções para a aplicação do sistema de cogeração.

Na primeira opção admitiu-se que a caldeira trabalharia durante a última hora do período de cheia (tarifário de baixa tensão), produzindo 581,4 kWh (quase a totalidade das necessidades diárias de preparação das AQS), e que o sistema de cogeração começaria a funcionar apenas no final desse período, coincidente com o início do período de ponta, altura em que o preço da eletricidade ronda os 0,13 €/kWh, segundo dados das faturas recolhidas do CPRA. O motor trabalharia então o número de horas que faltam para se atingir o consumo médio diário estimado de energia térmica. A eletricidade que fosse produzida em excesso seria vendida à rede, permitindo assim obter um encaixe financeiro relativamente bom. Para controlar o tempo de funcionamento destes dois mecanismos (caldeira e motor), seria instalado um autómato.

A segunda opção estudada foi a de colocar apenas o sistema de cogeração a funcionar para ser produzida a energia térmica sem intervenção de nenhuma das caldeiras, durante o horário de ponta. Isto permite rentabilizar mais o sistema visto que durante esse período a eletricidade é mais cara, e se esta estiver a ser consumida pelo edifício não há necessidade de comprar à rede, podendo ainda ser vendida a eletricidade excedentária pelo preço de compra.

Como os custos de investimento e de operação e manutenção não estavam disponíveis no documento das especificações dos motores da General Electric, de maneira a possibilitar a execução dos cálculos, foi utilizada a Tabela 4.10 que refere as margens de preço em que o tipo de equipamento escolhido está disponível. É de salientar que, tanto o custo de investimento como o custo de operação e manutenção foram estimados com recurso a interpolações, e que os dados poderão estar desatualizados.

Aplicando as expressões presentes no APÊNDICE A, conseguiu estimar-se o benefício líquido da aquisição e utilização destes aparelhos, assim como o tempo, em anos, que o projeto irá demorar a dar lucro (*payback*), para as duas opções referidas anteriormente. Entende-se benefício líquido como sendo a soma do dinheiro ganho com a venda de eletricidade em excesso com os custos evitados pela “não compra” de eletricidade à rede, subtraindo-se as despesas contraídas com o gás natural gasto na produção de energia térmica e elétrica. Na Tabela 4.11 podem observar-se os resultados obtidos.

Tabela 4.10 -- Informações relativas às várias características energéticas e funcionais de cada tipo de equipamento (adaptado de Ribeiro, 2011).

Tecnologia	Turbina a gás	Motores de explosão a GN	Motores de compressão interna	Turbinas a vapor	Microturbinas	Pilha de combustível
Rendimento elétrico (%)	15 - 35	22 - 40	25 - 45	10 - 40	18 - 27	35 - 40
Rendimento térmico (%)	40 - 60	40 - 60	40 - 60	40 - 60	40 - 60	20 - 50
Rendimento global (%)	60 - 85	70 - 80	70 - 85	60 - 85	55 - 75	55 - 90
Potência típica (MW _e)	0,2 - 100	0,05 - 5	0,015 - 30	0,5 - 100	0,03 - 0,35	0,01 - 0,25
Desempenho com carga parcial	Mau	Médio	Bom	Bom	Médio	Muito bom
Investimento [€/kWh _e]	600 - 800	700 - 1400	700 - 1400	700 - 900	1300 - 2500	> 2500
Operação e Manutenção [€/kWh _e]	0,002 - 0,007	0,007 - 0,015	0,006 - 0,012	0,003	0,010 (estimativa)	0,002 - 0,012
Arranque	10 m - 1 h	10 s	10 s	1 h - 1 dia	1 m	3 h - 2 dias
Combustíveis	GN, biogás, propano	GN, biogás, propano	Diesel, óleo residual	Todos	GN, biogás, propano	Hidrogénio, GN, propano, metanol
Ruído	Médio	Alto	Alto	Alto	Médio	Baixo

Tabela 4.11 - Dados económicos [€] e *payback* [anos] obtidos para os motores General Electric.

	Modelo	Despesas com o gás natural [€/ano]			Ganhos com a eletricidade [€/ano]		Balço [€/ano]	Retorno [anos]
		Com cogeração	Sem cogeração	Sobrecusto	Não compra	Venda	Benefício Líquido	<i>Payback</i>
1ª Opção	J 416	134191	74041	60151	65750	21559	27158	38
	J 412	134191	74041	60151	66129	21222	27200	26
2ª Opção	J 416	151447	74041	77406	65750	46605	34949	29
	J 412	151447	74041	77406	66129	46280	35003	20

Observando a tabela anterior percebe-se que as despesas com o gás natural são maiores na 2ª opção, o que se deve ao facto de o sistema de cogeração gastar mais gás natural do que a soma dos consumos de energia da caldeira com o sistema de cogeração para satisfazer a necessidades térmicas do edifício. No entanto, na 2ª opção, os motores J 416 e J

412 produzem mais energia elétrica do que os mesmos na 1ª opção, visto que estes necessitam de trabalhar mais horas do que na 1ª opção para satisfazerem as necessidades térmicas do edifício, já que não têm o apoio da caldeira, produzindo por isso mais eletricidade.

Este fator faz com que o benefício líquido dos motores da 2ª hipótese permitam rentabilizar o investimento mais depressa.

Apesar disso, nenhum dos *payback* calculados revelou ser satisfatório em termos económicos, já que os valores são bastante elevados. Esta conclusão surge também por não se saber ao certo o tempo de vida útil destes equipamentos. Neste tipo de projetos, a implementação de um sistema de cogeração é economicamente inviável se os períodos de retorno ultrapassarem os 8 anos, mais ou menos, já que os orçamentos das autarquias são bastante limitados, sendo complicado por isso aplicar qualquer medida de melhoria mais profunda.

As tabelas auxiliares utilizadas para o cálculo de energia elétrica produzida pelo sistema de cogeração e para o cálculo do gás natural consumido (com e sem cogeração) encontram-se no APÊNDICE A, juntamente com as fórmulas utilizadas.

4.3. Discussão de resultados

Depois de todos os dados demonstrados, cálculos efetuados e resultados obtidos, é altura de promover uma cuidadosa análise e discussão dos mesmos, no sentido de se saber se vão ao encontro do que era espetável.

Em relação aos consumos de energia registados nas faturas de 2014, o CPRA obteve uma distribuição de consumos de energia elétrica e térmica na ordem dos 34 % e 66 %, respetivamente, algo que se aproxima das distribuições encontradas por Almeida (2014) no COPC (27 % de energia elétrica e 73 % de energia térmica), complexo este situado na mesma região geográfica. Esta pequena desigualdade poderá justificar-se devido à diferença de tamanho dos dois complexos e também pela disparidade do número de utilizadores, já que o COPC possui infraestruturas maiores do que as do CPRA e tem muito mais utentes, sendo por isso necessário recorrer a um maior consumo de mais energia térmica para cumprir as necessidades de conforto adequadas, nomeadamente a climatização, que representa 65 %

do consumo total de energia térmica, segundo um estudo efetuado pela ITeCons em 2009 e referenciado por Carrinho (2010).

Em termos de consumos e gastos específicos, foram calculados uma série de valores interessantíssimos, na medida em que alargam o leque de indicadores conhecidos em relação a este tipo de complexos, podendo servir de termo de comparação para outros estudos similares.

Cada utente gasta em média 21,2 kWh de energia, valor abaixo do registado por Almeida (2014), 23,2 kWh, e custa à autarquia de Coimbra 2,6 €/utente, valor acima do que é pago normalmente pelos utentes, significando isto que o valor que a autarquia cobra não chega para cobrir as despesas de energia. Este fator torna-se ainda mais visível se pensarmos que neste custo por utente não se inclui o valor de desinfeção da água das piscinas nem o salário dos funcionários do complexo.

Por ano, a energia gasta por m² de área do CPRA é de 46,9 €/m², considerando a área útil total do complexo. Caso se considerasse apenas o piso 0, este valor seria certamente muito maior. Em termos do indicador de energia por área útil do CPRA, verifica-se que o valor encontrado (467,0 kWh/m².ano) se situa abaixo do indicador típico encontrado num estudo da Carbon Trust (2006) para complexos com duas piscinas, apesar de não se saber que áreas esta entidade utilizou. Por área de superfície de piscinas são gastos aproximadamente 1420 kWh/ano, valor abaixo do encontrado por Almeida (2014). No entanto, o edifício que este analisou tem necessidades térmicas muito maiores, dadas as grandes dimensões do edifício. Outro indicador interessante calculado foi o de energia por área envidraçada, 2711,9 kWh/m².ano, não havendo, no entanto, termo de comparação para se poder averiguar se este está dentro dos parâmetros normais.

Relativamente à energia térmica, apesar de ser a vertente energética mais complicada de estimar, por tudo o que foi dito anteriormente, conseguiu estimar-se a energia média diária gasta no aquecimento e na renovação da água das piscinas (2062 kWh/ dia), assim como o consumo médio diário de energia em AQS (406 kWh/ dia) através da energia térmica perdida no seu aquecimento, usando algumas simplificações. Sabendo estes valores, pode dizer-se que o aquecimento e renovação da água das piscinas deverá representar, em média, 71 % da energia térmica e 47 % da energia total consumidas, enquanto o aquecimento das AQS representará em média 14 % da energia térmica e 10 % da energia total consumidas. A climatização (ventilação e aquecimento do ar) deverá representar a fatia de energia térmica

que resta, ou seja, 15 %, embora esta deva ser analisada pormenorizadamente no futuro. Na auditoria efetuada pela ITeCons a este complexo, em 2009, chegaram a distribuições percentuais de aquecimento e tratamento da água das piscinas inferiores (47,8 %), de climatização idênticos (15,4 %) e de AQS superiores (36,8 %), em termos de energia térmica total, o que revela que os valores estimados pelas fórmulas da subsecção 2.1 e 2.2 não são muito precisos.

Tendo o CPRA necessidades energéticas tão acentuadas, como se pode constatar ao longo da análise realizada, torna-se necessário encontrar soluções que permitam, de alguma forma, racionalizar o consumo de energia sem que se comprometa o bem-estar dos utentes do complexo e o normal funcionamento do edifício. A pensar nisto, resolveu efetuar-se um estudo relativamente à viabilidade técnica e económica da implementação de um sistema de cogeração. Anualmente, os motores da 1ª opção, sem contar com os custos de investimento nem com o custo de gás natural, permitiriam poupar 66000 € (180 €/dia) em eletricidade e ainda vender aproximadamente 480 kWh/dia (receita a rondar os 21300 €/ano), o que tudo somado dá um ganho anual de aproximadamente 87000 €. Na 2ª hipótese, novamente sem contar com os custos de investimento e de gás natural, os motores permitiriam poupar o mesmo em eletricidade do que na 1ª hipótese, mas iriam faturar mais do dobro em termos de venda de energia elétrica. Em termos de gás natural, o complexo passaria a consumir mais ou menos o dobro da energia consumida anualmente sem sistema de cogeração, em ambos os casos.

No entanto, os *payback* obtidos mostraram que não é economicamente viável implementar um sistema deste tipo, pelo menos com a tecnologia e a marca escolhidas, a não ser que se consiga obter algum financiamento por parte de programas de incentivo à melhoria da eficiência energética, concorrendo a um QREN por exemplo. Caso existisse esse financiamento, deveria ser escolhido o motor J 412 já que apresenta um tempo de retorno menor.

Tal como já foi referido anteriormente, alguns dos valores utilizados nesta análise são baseados numa tabela de dados com especificações técnicas e monetárias sustentadas em tecnologias existentes na altura em que esta foi criada (Tabela 4.10), havendo a possibilidade de estes estarem desatualizados ou de as margens de valores que a tabela mostra não corresponderem exatamente à realidade.

5. CONCLUSÕES E POSSÍVEIS MEDIDAS DE MELHORIA

Na presente dissertação foi realizada uma análise detalhada ao número de utentes e aos consumos e custos referentes ao CPRA, a partir dos dados que foram facultados, onde se constatou que, em 2014, o número de utentes aumentou cerca de 10 % relativamente a 2013, que o edifício consome anualmente 541 MWh de energia elétrica, 1058 MWh, em média, de gás natural e 18629 m³, em média, de água.

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 COPC. Relativamente aos indicadores de energia total por áreas, foram encontrados valores de 467,02 kWh/m².ano por área útil do CPRA, e 2140,97 kWh/m².ano por área superficial de piscinas, valores estes inferiores à maioria dos indicadores encontrados em estudos de outros complexos. Ainda assim, o IEE estimado para este edifício foi de 60,6 kgep/m².ano, algo que se distancia negativamente do IEE referência definido pelo RSECE para este género de edifícios (35 kgep/m².ano). Um outro indicador energético obtido e para o qual não foram encontrados valores para comparar, foi o consumo anual médio de energia por área envidraçada, que revelou ser de 2711,90 kWh/m², repartido em 919,46 kWh/m² para a energia elétrica e em aproximadamente 1800 kWh/m² para a energia térmica.

Em termos de despesas de energia, a eletricidade é a que contribui mais, com 85948 €, representando 54 % dos custos totais de energia. A distribuição percentual de despesas de energia encontrada noutro estudo, efetuado a um complexo situado na mesma região geográfica, foi bastante diferente, estando as despesas de energia elétrica na casa dos 45 %, sendo a energia térmica aquela que mais contribui para os custos. Cada utente custa ao CPRA 2,65 €, contando com água (0,51 €) e energia (2,13 €). O valor encontrado para o COPC, por Almeida (2014), em termos de custo de energia por utente foi de 1,88 €, inferior aos 2,13 € estimados no complexo estudado, o que poderá estar relacionado com o aumento do preço do gás natural de 2013 para 2014.

Relativamente à desagregação simplificada de consumos de energia térmica, verificou-se que a energia gasta anualmente no aquecimento da água das piscinas é de 752 MWh, e que a energia gasta no aquecimento das AQS ronda, em média, os 148 MWh, dependendo claro das oscilações do número de utentes.

Em termos da análise de energia elétrica feita aos equipamentos, confirmou-se que estes não trabalham nas suas cargas máximas na maioria do tempo.

5.1. Solução de melhoria: cogeração

No final de toda a análise energética ao edifício verificou-se, tal como já foi referido anteriormente, que este possui consumos de gás natural e eletricidade elevados, e que a implementação de um sistema de cogeração poderia ser uma boa solução para atenuar os gastos de energia, ao produzir energia térmica e elétrica em simultâneo no próprio complexo. Esta solução poderia fazer com que os gastos energéticos globais fossem diminuídos pela redução da compra de eletricidade à EDP.

No entanto, tal não se veio a verificar visto que os *payback* encontrados foram demasiado elevados, algo que não dá grandes garantias de viabilidade económica. Ainda assim, existem outras tecnologias de cogeração que podem ser testadas, tais como as referidas no subcapítulo 4.3, o que dá azo à possibilidade de se efetuarem novos estudos que ensaiem outras tecnologias de cogeração. Caso existisse alguma indústria nas imediações que necessitasse de uma quantidade de energia térmica ou elétrica considerável, seria interessante estudar uma parceria entre o complexo e essa mesma entidade para que as duas pudessem adotar um sistema de partilha de energia produzida pelo sistema de cogeração, repartindo assim os custos desta tecnologia e o consumo da energia produzida.

5.2. Outras soluções de melhoria que podem ser adotadas

Para além da implementação de um sistema de cogeração, discutida anteriormente, existem outras medidas de melhoria interessantes, enumeradas de seguida.

Apesar de a iluminação não ser a vertente que mais consome energia no CPRA, é importante reduzir o seu consumo visto que apresenta uma percentagem de utilização elevada, quando comparada com outros estudos. Como tal, seria importante proceder à

substituição de todas as lâmpadas existentes pela tecnologia LED, embora, como já se viu num estudo anterior (subsecção 2.3), os tempos de retorno são desfavoráveis e pelo que os responsáveis deste complexo transmitiram, isso só será possível se parte do projeto de substituição for participado por fundos comunitários. Esta participação, caso aconteça, irá diminuir consideravelmente o investimento inicial que a autarquia terá de fazer e, com isso, os indicadores económicos (TIR, VAL e tempo de retorno) passarão a ser mais atrativos e favoráveis à implementação do projeto.

Outra componente ligada à iluminação e que ainda não existe neste complexo são sensores de presença, que têm a função de diminuir ou aumentar a luminosidade consoante a existência ou ausência de utentes num determinado local. Este mecanismo seria útil principalmente no corredor de acesso aos balneários e nos balneários propriamente ditos, já que muitas vezes as luzes se encontram ligadas sem que exista alguém nessa zona.

A colocação de uma cobertura nas piscinas, durante o período em que estas se encontram fechadas ao público, é outra medida que deverá ser equacionada já que, como já se viu na subsecção 2.3, permite reduzir consideravelmente as perdas de energia derivadas da evaporação da água das piscinas. O único senão prende-se com a dificuldade em colocar e remover este tipo de acessório, obrigando, na maioria das tecnologias existentes, à presença de um funcionário para a colocação e remoção do mesmo.

A instalação de painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade seria outra solução com vista a servir parte das necessidades elétricas do edifício, ou então para vender parcial ou totalmente a eletricidade produzida à rede, permitindo um encaixe financeiro importante, embora o investimento inicial costume ser algo elevado. Também a instalação de coletores solares que auxiliem o aquecimento das AQS e permitam poupar energia térmica será uma medida que deve ser equacionada. Tanto para os painéis como para os coletores, é importante saber qual a área necessária para instalar esse tipo de mecanismos e se existem condições técnicas para os colocar no telhado do edifício ou na vizinhança.

Através das visitas realizadas ao CPRA deu para perceber que a zona de acesso aos balneários, mais propriamente o corredor, tem contato direto com o ar vindo da entrada principal do edifício e também com o ar proveniente de uma zona de acesso às áreas técnicas, o que resulta em perdas de energia térmica importantes quando os radiadores do corredor estão ligados, provocando também correntes de ar e desconforto aos utentes. Seria então recomendado aplicar nesse local, no início e no final do corredor, portas corta-vento, para

que se consigam reduzir perdas térmicas ligadas ao consumo de energia dos radiadores e ainda melhorar o conforto dos utilizadores.

5.3. Propostas de investigação e trabalho futuros

Neste estudo permaneceram algumas dúvidas relativamente à repartição de consumos de energia elétrica e térmica, bem como em relação à viabilidade económica da aplicação de algumas medidas de melhoria.

Seria então interessante analisar a viabilidade técnica e económica da instalação de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica e/ ou de coletores solares para a produção de energia térmica que auxiliem o aquecimento das AQS.

Efetuar uma análise às caldeiras do CPRA, verificando se os rendimentos das mesmas estão de acordo com o previsto pelo fabricante. Para isso é recomendada a utilização de um analisador de gases. Poderá também fazer-se uma verificação relativamente ao isolamento das tubagens e de acessórios existentes para verificar se existem locais onde as perdas térmicas são consideráveis.

Utilizar contadores parciais em alguns equipamentos, especialmente naqueles que apresentam maiores potências elétricas e térmicas e mais tempo de funcionamento, de modo a aferir com maior exatidão os consumos desses equipamentos e as variações de carga existentes ao longo do dia, quiçá em diferentes estações do ano.

Analisar a viabilidade económica da instalação de detetores de presença no corredor e nos balneários do complexo, tendo em vista a redução dos consumos de energia elétrica associados à iluminação desnecessária.

Para diminuir as perdas de energia térmica por evaporação e o consumo de energia com o aquecimento da água das piscinas fora do período de utilização, será interessante analisar a viabilidade técnica e económica da instalação de uma cobertura. A relação custo da cobertura por m², a redução das perdas térmicas, bem como consumo de água por m² poderão ser bons indicadores.

BIBLIOGRAFIA

Referências bibliográficas

- ADENE – Agência Portuguesa para a Energia (2015). “Certificação Energética de Edifícios”. Acedido em 25 de março de 2015, em: <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>.
- Almeida, B. (2014). “Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- BRECSU (1994). Case Study 76, “Energy efficiency in sports and recreation buildings: swimming pool covers”. Acedido em 29 de fevereiro de 2015, em: <http://www.forgeleisure.co.uk/Case%20Study.pdf>.
- BRECSU (1998), Energy Consumption Guide 78, “Energy use in sports and recreation buildings”, Acedido em 26 de fevereiro de 2015, em: <http://targ.co.uk/other/guide78.pdf>.
- Carbon Trust, (2006), “Sports and leisure: Introducing energy saving opportunities for business”. Acedido em 29 de março de 2015, em: www.thecarbontrush.co.uk/energy.
- Carrinho, A. (2010). “Poupança Energética Associada ao Uso de Cobertura Isotérmica Sobre o Plano de Água – Estudo de caso realizado na Piscina Municipal de Rio Tinto”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão Desportiva. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Cengel, Y., Boles, M. (2001). “Thermodynamics: An Engineering Approach”. 4th Edition. Boston. p. 830.
- CIATESA (2005). Companhia Industrial de Aplicaciones Térmicas, SA. “Climatización de piscinas cubiertas” Acedido em 14 de junho de 2015, em: <http://www.boscoluz.com/pdfs/clima01.pdf>.
- Clifford, M. L. (2015). “Redução do consumo de carvão na China”. Acedido em 30 de maio de 2015, no Website do Jornal de Negócios: http://www.jornaldenegocios.pt/opiniao/economistas/detalhe/reducao_do_consumo_de_carvao_na_china.html.

Comissão Europeia (2015). “Pacote União da Energia”. Acedido em 6 de maio de 2015, em:

[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com\(2015\)0080_/com_com\(2015\)0080_pt.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com(2015)0080_/com_com(2015)0080_pt.pdf).

DETREE (2013). Good practice guide 219 - Energy efficiency in swimming pools - for centre managers and operators, The Department of the Environment, Transport and the Regions’ Energy Efficiency, Best Practice programme. Acedido em 17 de março de 2015, em:

http://www.swimming.org/assets/uploads/library/Energy_Efficiency_in_Swimming_Pools_219.pdf.

GE Power & Water (2015). “Jenbacher type 4 – The new 4B version”. Acedido em 31 de agosto de 2015, em: <https://www.ge-distributedpower.com/products/power-generation/up-to-5mw/jenbacher-type-4>.

Pereira, A. (2013). “Estudo de Iluminação de 4 Complexos Desportivos de Piscinas e Pavilhão Multidesportos”. Trabalho de estágio para a obtenção de grau de Mestre em Instalações e Equipamentos em Edifícios. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Prado, M. (2015). “Portugal baixa para novo mínimo histórico a sua dependência energética do exterior”. Acedido em 8 de julho de 2015, no Website do jornal Expresso: http://expresso.sapo.pt/economia/economia_energia/2015-07-01-Portugal-baixa-para-novo-minimo-historico-a-sua-dependencia-energetica-do-exterior.

Ribeiro, C. (2011). “Medidas de Racionalização do Consumo de Energia numa Indústria Cerâmica”. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylakto, C., Drousta, K., Balaras, C.A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G.e Papanikolaou, N., (1998), “Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools”, Energy and Buildings 27, 123-135.

Legislação

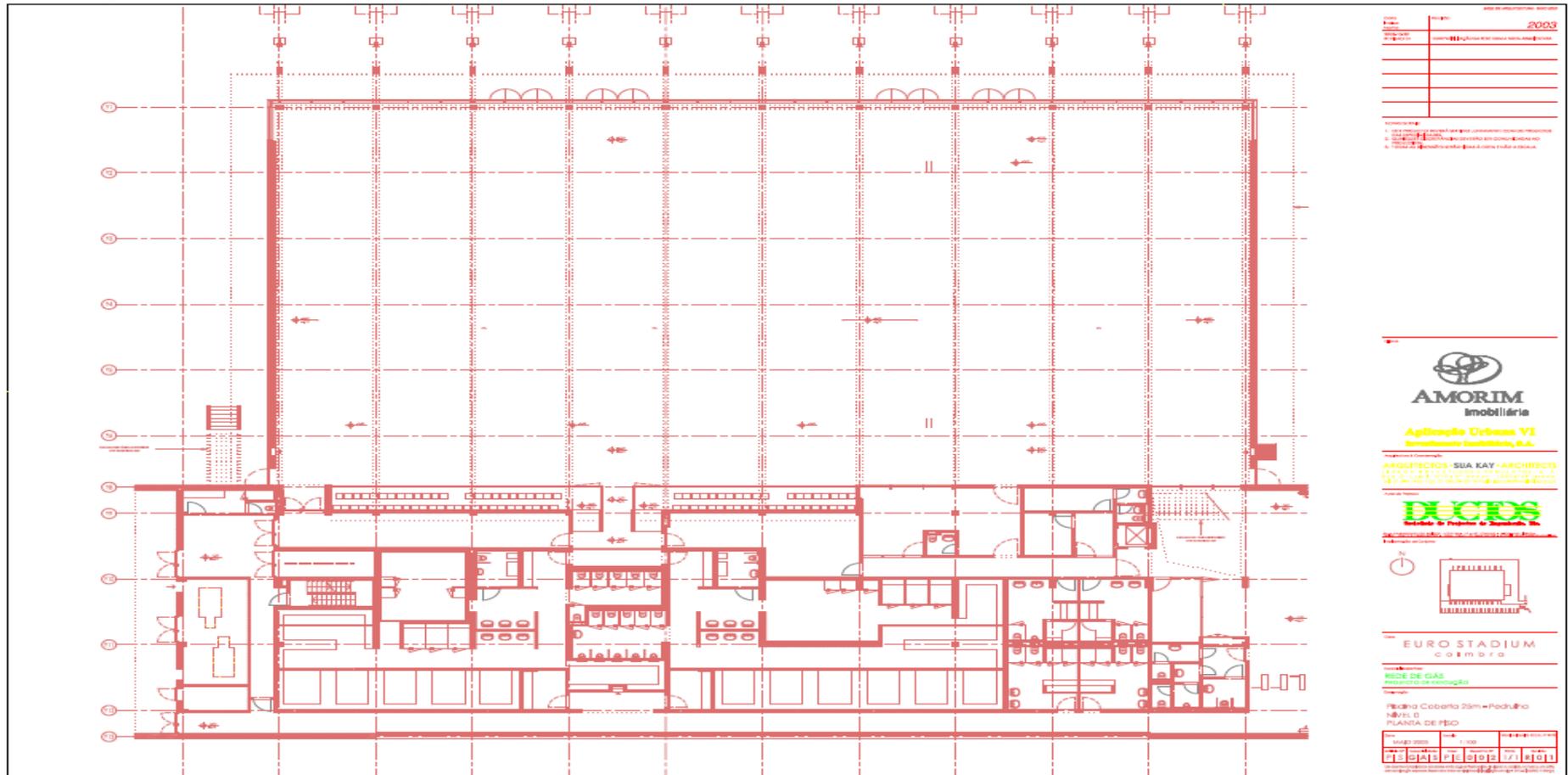
Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril. Diário da República, 1.ª série, N.º 84: 2206(2)-2206(52). Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1.ª série-A, N.º 67: 2411-2415. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.

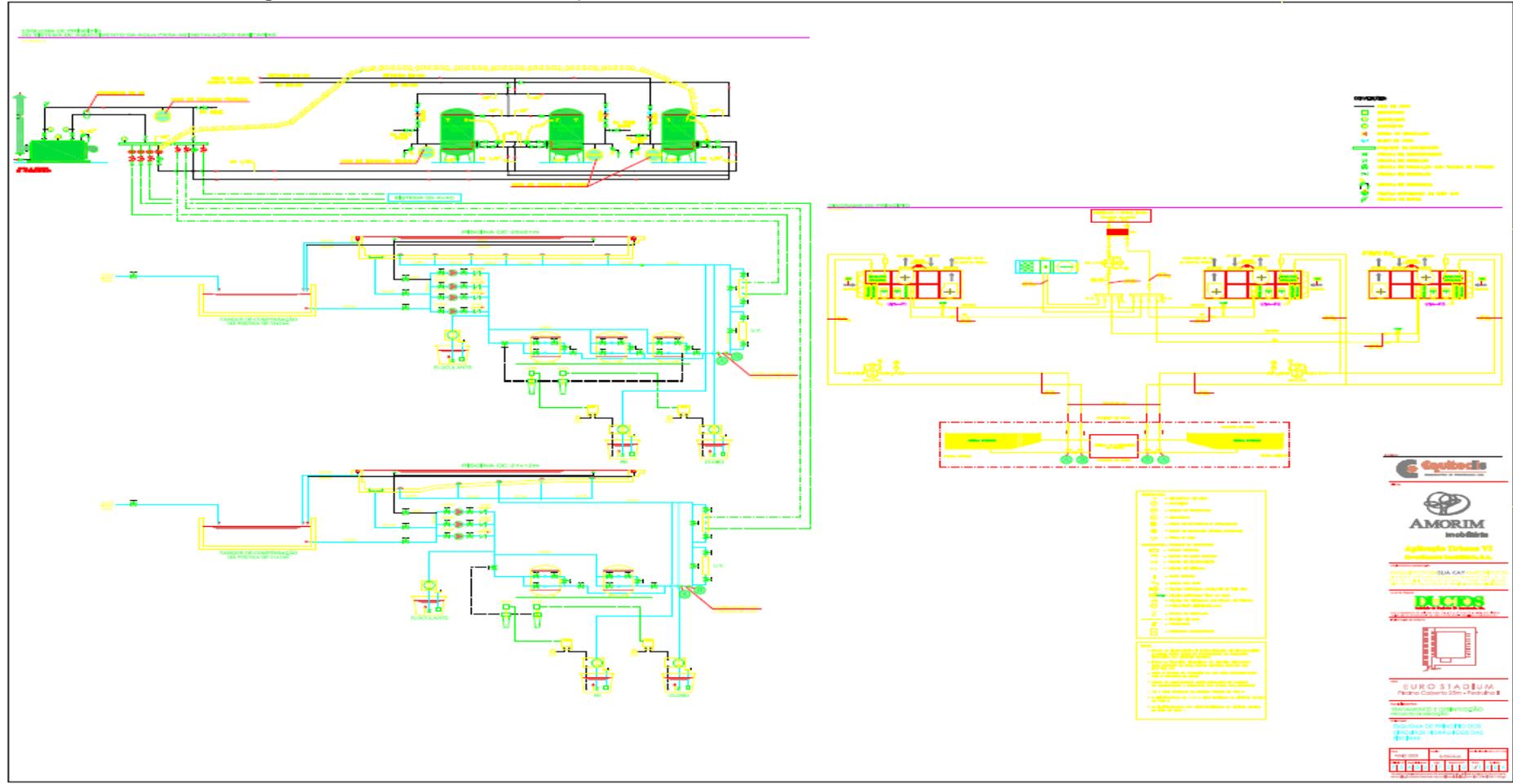
-
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1.ª série-A, N.º 67: 2416-2468. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1.ª série-A, N.º 67: 2468-2513. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Diário da República, 1.ª série, N.º 159: 4988-5005. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- Despacho n.º 1729/2011, de 21 de janeiro. Diário da República, 2.ª série, N.º 15: 4503-4504. Gabinete do Secretário de Estado da Saúde, Ministério da Saúde. Lisboa.
- Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho. Diário da República, 2.ª série, N.º 122: 27912-27913. Direção-Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro. “Desempenho Energético dos Edifícios”. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. Bruxelas.
- Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio. “Desempenho Energético dos Edifícios”. Jornal Oficial da União Europeia. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. Bruxelas.
- Diretiva 2012/27/UE, de 25 de outubro. “Eficiência Energética”. Jornal Oficial da União Europeia. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. Bruxelas.
- Diretiva CNQ 23/93 (1993). “A Qualidade das Piscinas de Uso Público”. Conselho Nacional de Qualidade. Lisboa.
- Edital n.º 22/2015, de 12 de março. “Regulamento de Utilização e Funcionamento das Piscinas Municipais”. Câmara Municipal de Coimbra.
- Norma NP EN 15288-1 (2009). “Piscinas - Parte 1: Requisitos de Segurança para a Conceção”. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- Portaria n.º 461/2007, de 5 de junho. Diário da República, 2.ª série, N.º 108: 15378. Ministérios da Administração Interna, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, da Economia e da Inovação e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.

ANEXO A – PLANTAS DO CPRA

Planta do piso 0 do CPRA (rede de gás)



Circuitos hidráulicos das piscinas/ tratamento e desinfecção



APÊNDICE A - COGERAÇÃO

Consumo de energia elétrica [kWh] = Potência elétrica [kW] × horas de produção

$$Eletricidade \left[\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right] = (Preço_{eletricidade} - Preço_{operação}) \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \times Eletricidade [kWh]$$

$$Consumo \text{ de } GN = \left(\frac{P. \text{ cogeração } [kW]}{\eta_{térmico}} \right) \times \text{horas trabalho} + \left(\frac{P. \text{ caldeira } [kW]}{\eta_{térmico}} \right) \times \text{horas trabalho}$$

$$GN \text{ c/cogeração} [€] = GN \text{ c/cogeração} [kWh] \times Preço_{GN} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$$GN \text{ s/cogeração} [€] = GN \text{ s/cogeração} [kWh] \times Preço_{GN} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$$Sobrecusto [€] = GN \text{ c/cogeração} [€] - GN \text{ s/cogeração} [€]$$

$$Benefício \text{ líquido} [€] = Vendas [€] + Poupança [€] - Sobrecusto [€]$$

$$Investimento [€] = Custo \text{ instalação} \left[\frac{\text{€}}{\text{kW}} \right] \times Potência \text{ elétrica} [kW]$$

$$Payback [anos] = \frac{Investimento [€]}{Benefício \text{ líquido} [€/ano]}$$

Caldeiras	Consumo de gás natural do CPRA (sem cogeração)		
	Gás natural gasto [kWh/ano]	Gás natural gasto [kWh/dia]	Energia térmica produzida [kWh/dia]
0,9	1057724,9	2897,9	2608,1

	Preços [€/kWh]
Eletricidade (horário de ponta BT)	0,13
Gás natural	0,07

	Modelo	Gás natural (consumo)		
		kWh/dia	€/dia	€/ano
1ª Opção	J 416	5898,1	412,9	150696,7
	J 412	5898,1	412,9	150696,7
2ª Opção	J 416	5927,5	414,9	151447,0
	J 412	5927,5	414,9	151447,0

	Modelo	Potência de uma Caldeira [kW]	Energia térmica consumida (caldeira) [kWh]	Energia térmica produzida (caldeira) [kWh]	Energia térmica em falta [kWh]	Nº de horas para produzir energia térmica em falta
1ª Opção	J 416	581,4	646,0	581,4	2026,7	1,7
	J 412	581,4	646,0	581,4	2026,7	2,2
2ª Opção	J 416	-	0	-	2608,1	2,1
	J 412	-	0	-	2608,1	2,8

	Modelo	Energia térmica total consumida [kWh]	Energia elétrica produzida [kWh/dia]
1ª Opção	J 416	5252,1	1968,7
	J 412	5252,1	1958,4
2ª Opção	J 416	5927,5	2533,5
	J 412	5927,5	2520,2

Modelo	Custo de investimento [€/kWh elétrico]	Custo de operação [€/MWh _{elétrico}]	Custo de operação [€/kWh _{elétrico}]
J 416	866	8,9	0,0089
J 412	800	8,2	0,0082