



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: caso da Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição

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

Autor

André Amorim Fontes

Orientadores

Professor Doutor José Carlos Góis

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Júri

Presidente	Professor Doutor José Manuel Baranda Ribeiro Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Gonçalo Jorge Vieira Nunes Brites Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Carlos Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra



CÂMARA MUNICIPAL
COIMBRA

Câmara municipal de
Coimbra

Coimbra, setembro de 2015

“O kWh mais barato é aquele que não se consome”

Servetis LDA, 2014

Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Góis e ao Professor Doutor Adélio Gaspar, meus orientadores para este trabalho, que estiveram sempre disponíveis para me fornecer dicas, esclarecimentos e conhecimento.

À Câmara Municipal de Coimbra, por ter permitido a realização desta dissertação num dos complexos de piscinas da cidade. Um reconhecimento particular ao Eng. Paulo Rodrigues, ao Eng. João Salustiano, à Silvana e ao Roberto, pela sua receptividade, por todo o material de apoio fornecido, pelos esclarecimentos prestados e pela disponibilidade para deslocações ao complexo estudado.

Aos meus amigos, que me acompanharam no meu percurso escolar e nos tempos de lazer. O seu contributo ao longo dos anos foi parte indispensável na minha formação académica e pessoal.

Aos meus colegas de curso, que foram excelente companhia em todas as aulas deste excelente curso, em todos os momentos de lazer, e espero que para o futuro.

A todos os professores e funcionários do DEM, que fazem deste estabelecimento um dos melhores do país e que a mim, me vão deixar uma grande saudade.

Aos meus pais e à minha família em geral, que me deram sempre todo o apoio, força psicológica e proporcionaram as condições necessárias ao meu percurso pessoal e escolar.

À Flávia, por estar sempre ao meu lado, por me ajudar a ser quem sou hoje. Além da ajuda anímica à realização deste trabalho, obrigado por seres quem és.

A todos vós o meu muito, muito obrigado.

Resumo

As instalações desportivas com piscinas interiores caracterizam-se por serem grandes consumidoras de água e de energia, devido às necessidades de proporcionar conforto no ar ambiente e na água aos seus utilizadores. O elevado consumo energético destes complexos obriga a que se tomem medidas que permitam aumentar a sua eficiência energética. Desta forma, poder-se-á reduzir os custos com a energia.

Neste estudo realizado na Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição é feito um levantamento às características dos seus principais equipamentos. É feita a análise dos consumos específicos e a comparação com outros complexos com piscinas de outros países. O valor obtido para o consumo específico de energia foi de 740 kWh/m² (baseado na área coberta) e 2.776 kWh/m² (baseado na área de superfície do plano de água), ambos enquadrados nas gamas dos indicadores de referência obtidos na literatura.

São sugeridas algumas medidas de melhoria no sentido de aumentar a eficiência energética do complexo da piscina. É apresentada uma análise da viabilidade técnica e económica da aplicação de uma cobertura isotérmica automática sobre plano de água no período de não utilização. A aplicação de uma cobertura isotérmica durante o período em que a piscina não está em funcionamento permite poupanças de energia térmica de 14.254 € por ano. Por outro lado, evita a evaporação de água nos períodos de não funcionamento resultando em poupanças de água de 633 € por ano.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Piscinas interiores, Benchmarking, Coberturas em piscinas interiores, Custo de Energia, Consumo de Energia.

Abstract

Sports facilities with indoor swimming pools demand high consumption of energy and water to supply the water requirements and air quality for users. The high energy consumption of these facilities requires actions in order to improve the energy efficiency and to reduce energy costs.

In this study about the Municipal Swimming Pool Luís Lopes da Conceição, is made a survey of the characteristics of the main equipment. The energy consumption analysis allows a comparison of this swimming pool with others from other countries. The specific energy consumption is around 740 kWh/m² (building area) and 2.776 kWh/m² (swimming pool area), both are established according to reference indicators found in the literature.

In order to improve energy efficiency and water saving in the swimming pools are proposed some solutions. A technical and economic analysis was performed to study the feasibility to install an isothermal cover on the water's plan of swimming pool. The installation of the pool cover during the period without usage of the pool allows to save 14.254 € per year of the cost of natural gas. By other side, allows to reduce the water evaporation which produce a reduction of 633 € per year in the cost of water supply.

Keywords Energy Efficiency, Indoor Swimming Pools, Benchmarking, Swimming Pool Covers, Energy Cost, Energy Consumption.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Simbologia e Siglas	viii
Simbologia.....	viii
Siglas	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização da dissertação.....	2
2. ESTADO DA ARTE	4
2.1. Legislação comunitária e nacional sobre a eficiência energética de edifícios e complexos desportivos	4
2.2. Programas para o aumento da eficiência energética.....	7
2.3. Normas sobre a gestão de energia e eficiência energética.....	9
2.4. Investigação sobre a eficiência energética e consumos específicos de complexos desportivos com piscinas interiores.....	11
2.5. Efeito da evaporação em piscinas interiores e humidade relativa recomendável.....	17
2.6. Contribuição da cobertura térmica para a redução do consumo de energia em piscinas interiores	18
2.7. Medidas típicas para aumentar a eficiência energética de complexos desportivos com piscinas interiores	20
3. CASO DE ESTUDO – PMLLC	22
3.1. Caracterização do edifício.....	22
3.2. Metodologia.....	24
3.3. Utilizadores do complexo	24
3.4. Consumos.....	26
3.4.1. Consumos elétricos.....	26
3.4.2. Consumos de gás natural	28
3.4.3. Consumos de água.....	31
3.5. Análise comparativa dos consumos de água e de energia térmica e elétrica.....	33
3.6. Indicadores energéticos e comparação com as referências bibliográficas.....	36
4. ANÁLISE ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO.....	39
4.1. Energia elétrica	40
4.2. Energia térmica	41
4.2.1. Energia necessária para preparação de AQS	41
4.2.2. Carga térmica de aquecimento da água da piscina	44
5. ESTUDO DA APLICAÇÃO DA COBERTURA SOBRE O PLANO DE ÁGUA....	49
5.1. Escolha da cobertura	49
5.2. Pressupostos assumidos	50

5.3. Indicadores financeiros	50
5.4. Apresentação e discussão dos resultados	51
6. CONCLUSÕES	53
6.1. Propostas de trabalho futuro	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO A – Planta do complexo	58
ANEXO B – Esquema de fluídos térmicos	59
ANEXO C – Esquema de tratamento da água.....	60
APÊNDICE A – Perfis de utilização da PMLLC.....	61
APÊNDICE B – Consumos elétricos no período abril de 2013 a março de 2015	62
APÊNDICE C – Consumos elétricos no ano 2014	63
APÊNDICE D – Consumos térmicos entre 2013 e 2014	64
APÊNDICE E – Consumo de água entre 2012 e 2014.....	65
APÊNDICE F – Consumo específico de energia e de água	66
APÊNDICE G – Cálculo da carga térmica de aquecimento da água da piscina.....	67
APÊNDICE H – Cálculo das perdas térmicas da água da piscina	68
APÊNDICE I – Tempo de aplicação da cobertura e poupança energética	69
APÊNDICE J – Poupança de água associada à aplicação da cobertura	70
APÊNDICE L – Parâmetros financeiros	71
APÊNDICE M – Análise financeira.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Principais Diretivas com abordagem à eficiência energética.....	4
Figura 2.2. Resumo da legislação nacional referente à eficiência energética de edifícios....	6
Figura 2.3. Principais intervenções realizadas para aumento da eficiência energética (Fiaschi <i>et al.</i> , 2012).....	11
Figura 2.4. Consumo específico para os diferentes complexos analisados (Oliver-Solà <i>et al.</i> , 2013).....	12
Figura 2.5. Dispersão para os diferentes consumos específicos (Oliver-Solà <i>et al.</i> , 2013). 13	
Figura 2.6. Consumo típico de energia em piscinas interiores. Fonte: EEO (1998, <i>cit in</i> Trianti-Stourna <i>et al.</i> , 1998).....	14
Figura 2.7. Comparação entre os dois tipos de indicadores. M Øen (2010, <i>cit in</i> Kampel, Aas, & Bruland, 2013).	17
Figura 3.1. Planta do piso 2 da PMLLC.....	23
Figura 3.2. Evolução do número anual de utilizadores entre 2013 e 2014.....	25
Figura 3.3. Evolução do número mensal de utilizadores entre 2013 e 2014.....	25
Figura 3.4. Evolução do consumo anual de eletricidade entre abril 2013 e março 2014, e abril 2014 e março 2015.....	26
Figura 3.5. Evolução do consumo mensal de eletricidade entre abril 2013 e março 2014, e abril 2014 e março 2015.....	27
Figura 3.6. Evolução do consumo mensal de eletricidade no ano 2014.....	28
Figura 3.7. Evolução do consumo anual de GN entre 2013 e 2014.....	29
Figura 3.8. Evolução do consumo mensal de GN entre 2013 e 2014.....	29
Figura 3.9. Consumo registado de GN em 2014.....	30
Figura 3.10. Evolução do consumo anual de água entre 2012 e 2014.....	32
Figura 3.11. Evolução do consumo mensal de água entre 2012 e 2014.....	32
Figura 3.12. Comparação do consumo (a) e custos (b) totais de eletricidade e GN relativamente a 2014.....	33
Figura 3.13. Comparação do consumo específico de energia por utente relativamente a 2014.....	35
Figura 3.14. Consumo específico de água por utente relativamente a 2014.....	35
Figura 4.1. Esquema de princípio da instalação.....	39
Figura 4.2. Representação da estimativa de energia térmica para AQS relativo a 2014.....	43
Figura 5.1. Cobertura orçamentada por ACMA Sociedade de Construções.....	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Metas para Portugal e para a Europa para 2020 (Comissão Europeia, 2015). ...	9
Tabela 2.2. Consumo típico de energia em piscinas interiores no Reino Unido. Fonte: Energy Efficiency Best Practice Programme. Good Practice Guide 219 – Energy Efficiency in Swimming Pools – for Centre Managers and Operators (September 1997, <i>cit in</i> Seneviratne, 2007).	13
Tabela 2.3. Síntese dos resultados obtidos no estudo de Saari & Sekki (2008).	15
Tabela 2.4. Síntese dos resultados de consumo energético obtidos no estudo de Kampel, Aas, & Bruland (2014).	16
Tabela 2.5. Síntese dos resultados do consumo de água obtidos no estudo de Kampel, Aas, & Bruland (2014).	16
Tabela 2.6. Tipos de coberturas e suas características (Carrinho, 2010).	19
Tabela 3.1. Horário de funcionamento da PMLLC.	22
Tabela 3.2. Comparação dos consumos e custos mensais de eletricidade e GN relativamente a 2014.	33
Tabela 3.3. Custo específico de eletricidade e GN relativamente a 2014.	34
Tabela 3.4. Principais indicadores energéticos encontrados na bibliografia.	37
Tabela 3.5. Principais indicadores energéticos relativos à PMLLC.	37
Tabela 3.6. Principais indicadores de custo energético relativos à PMLLC.	38
Tabela 4.1. Potência elétrica dos equipamentos ajustada com o tempo de funcionamento.	40
Tabela 4.2. Potência térmica dos equipamentos.	41
Tabela 4.3. Estimativa de energia térmica para AQS relativo a 2014.	42
Tabela 4.4. Parâmetros utilizados no cálculo da estimativa de energia para AQS.	42
Tabela 4.5. Resumo da carga térmica de aquecimento da água da piscina.	47

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

- α – Absortância no espectro da radiação solar
- ΔT – Diferença de temperaturas [°C]
- CF_k – Fluxos monetários de exploração no ano k [€]
- c_p – Calor específico a pressão constante [kJ/(kg.K)]
- ε_w – Emitância de grande comprimento de onda da água
- f_{eh} – Fator adimensional do tipo de chuveiro
- G_i – Irradiação solar no plano horizontal [MJ/(m².dia)]
- h_{fg} – Calor latente de evaporação da água [MJ/kg]
- h_r – Coeficiente de transmissão de calor por radiação [W/(m².K)]
- HR – Humidade relativa do ar [%]
- i – Taxa de atualização
- I_k – Valor contabilístico do ativo não corrente a adquirir no ano k [€]
- m – Massa de água [kg]
- M_{AQS} – Consumo médio diário de referência [L/dia]
- m_{evp} – Taxa de evaporação diária [kg/(m².dia)]
- n – Número convencional de ocupantes
- n_d – Número anual de dias em que há consumo de AQS [dia]
- ρ – Massa volúmica [kg/m³]
- P_{enc} – Pressão parcial de vapor do ar circundante da piscina [kPa]
- P_s – Pressão de vapor saturado à temperatura do ar [kPa]
- P_w – Pressão de vapor saturado à temperatura da água da piscina [kPa]
- Q_a – Energia útil necessária para preparação de AQS [kWh/ano]
- Q_{AQS} – Energia útil necessária para o aquecimento de água quente [kJ]
- q_c – Perdas térmicas por convecção [MJ/(m².dia)]
- q_e – Perdas térmicas por evaporação [MJ/(m².dia)]
- q_{mku} – Perdas térmicas devidas à adição de água da rede [MJ/(m².dia)]

- q_r - Perdas térmicas por radiação [MJ/(m².dia)]
 q_s - Taxa de absorção de radiação solar na piscina [MJ/(m².dia)]
 σ - Constante de Stefan-Boltzmann [W/(m².K⁴)]
 t_a - Temperatura do ar [°C]
 T_{enc} - Temperatura das paredes do edifício envolvente da piscina [K]
 t_{mku} - Temperatura da água injetada da rede [°C]
 T_s - Temperatura do céu [K]
 t_w - Temperatura da água da piscina [°C]
 T_w - Temperatura da água da piscina [K]
 V - Volume [m³]
 v_s - Velocidade do ar à superfície da piscina [m/s]

Siglas

- AQS - Água quente sanitária
CMC - Câmara Municipal de Coimbra
GD - Graus-dias de aquecimento
GEE - Gases com efeito de estufa
GN - Gás natural
IR - Índice de rentabilidade
PMLLC - Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição
PR - Período de retorno
TIR - Taxa interna de rentabilidade
UTA - Unidade de tratamento de ar
UTAN - Unidade de tratamento de ar novo
VEX - Ventilador de extração
VLA - Valor líquido atual

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O desenvolvimento dos hábitos da sociedade tem conduzido a um aumento do consumo de energia *per capita*. Este aumento tem sido acompanhado pelo crescimento da população mundial, contribuindo para um enorme consumo de energia no mundo e com tendência a aumentar. Este consumo, em grande escala, pode provocar o desaparecimento de energias não renováveis, bem como impactos negativos no meio ambiente. Dentro destes impactos negativos destacam-se as emissões de gases de efeito estufa (GEE), que podem surgir tanto no momento do consumo final de energia como em qualquer uma das fases de transformação que precedem a conversão da energia em energia final.

O custo da energia é outro fator com elevada importância, pois tem aumentado ininterruptamente. Devido à crise económica que afeta um grande número de países, onde se inclui Portugal, é necessária a redução do consumo de energia fóssil, quer através de uma melhor eficiência, quer ainda pela implementação de energias renováveis. Desta forma contribui-se para a redução da pegada de carbono bem como para poupanças económicas.

A redução da pegada de carbono é um assunto que tem preocupado vários países. Com o intuito de alcançar este alvo, foram criadas várias Diretivas pela União Europeia possibilitando a implementação de medidas de eficiência energética por diferentes países. Estas medidas solicitam que a energia usada seja obtida a partir de fontes renováveis.

As piscinas interiores, devido essencialmente às suas necessidades de aquecimento de água e de tratamento do ar, são instalações que apresentam elevados consumos de energia térmica e elétrica, podendo ser alvo de ações com a finalidade de melhorar a sua eficiência energética. A melhoria da eficiência energética, mesmo que em pequena percentagem, pode proporcionar elevadas poupanças energéticas e económicas.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como finalidade avaliar a eficiência energética, de uma das piscinas da cidade de Coimbra: a Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição (PMLLC).

Será necessário conhecer a legislação aplicável aos complexos desportivos com piscinas, em termos de eficiência energética. Além da legislação, será fundamental analisar os artigos científicos e relatórios de entidades reguladoras que reportem estudos realizados em outras piscinas, para que seja possível uma comparação de consumos específicos ao caso de estudo. Para obter os consumos específicos será tratada a informação das faturas e/ou registos de eletricidade, gás natural, água, número de utilizadores, número de horas de funcionamento, áreas uteis do complexo e de superfície do plano de água da piscina.

Identificados os maiores consumidores de energia serão sugeridas algumas medidas de melhoria para reduzir o consumo e aumentar a eficiência energética. Pretende-se apurar qual a poupança de energia e de custos associados às propostas de melhoria. Importa também estudar viabilidade económica do investimento dessas melhorias.

1.3. Organização da dissertação

Este trabalho é composto por seis capítulos. O primeiro capítulo é essencialmente introdutório, no qual se faz uma antevisão dos temas a abordar e a forma como vão ser explorados.

O segundo capítulo expõe uma síntese de informação que será útil em fases posteriores. Exemplo disso é a legislação em vigor, normas relacionadas com o tema, trabalhos já realizados e algumas informações sobre evaporação e coberturas em piscinas. O capítulo termina com a apresentação de algumas medidas típicas que permitem aumentar a eficiência energética de complexos com piscinas.

No terceiro capítulo são exibidos os dados recolhidos acerca dos consumos energéticos, de água e dos perfis de utilização. Tenta-se arranjar explicação para todas as anormalidades ocorridas. É também feita uma comparação entre os consumos de água e de energia. São confrontados indicadores obtidos para a PMLLC em relação aos obtidos no capítulo anterior.

O quarto capítulo apresenta uma análise da instalação referente à parte elétrica e à parte térmica. São estimados valores para os consumos em ambas as situações. Deu-se especial atenção à abordagem da carga térmica de aquecimento da piscina.

No quinto capítulo é estudada a viabilidade económica da aplicação da cobertura isotérmica, no qual são utilizados alguns dados obtidos no capítulo anterior.

O sexto e último capítulo menciona as conclusões do trabalho desenvolvido nesta dissertação assim como propostas de trabalho futuro.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Legislação comunitária e nacional sobre a eficiência energética de edifícios e complexos desportivos

Na Figura 2.1, é apresentada uma compilação das diretivas relacionadas com eficiência energética e energias renováveis.

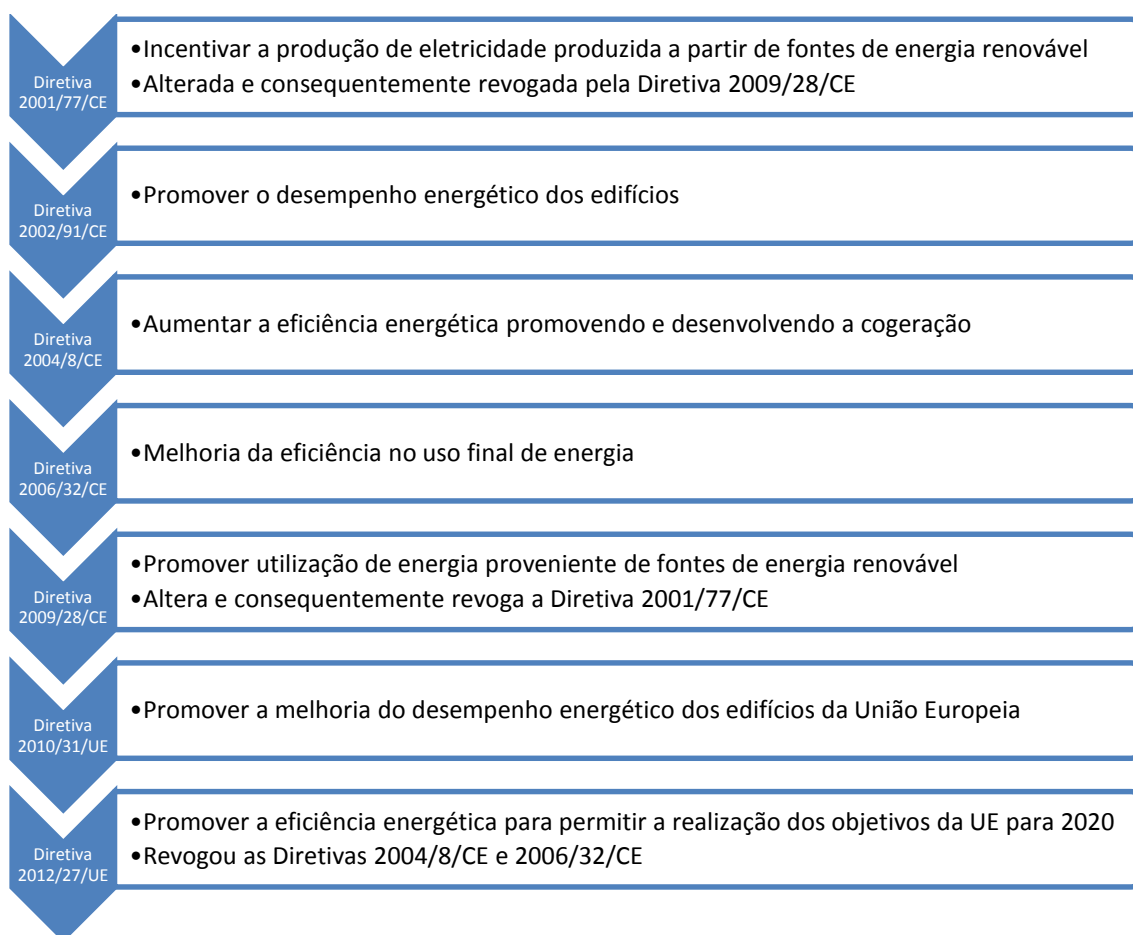


Figura 2.1. Principais Diretivas com abordagem à eficiência energética.

A Diretiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do conselho de 27 de setembro de 2001 teve como finalidade promover a produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno de eletricidade. Esta veio a ser revogada e atualizada pela Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do conselho de 23 de abril de 2009, que foi transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei n.º 117/2010, de 25 de outubro

e pelo Decreto-lei 141/2010, de 31 de dezembro. O Decreto-lei 39/2013, de 18 de março, estabelece as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final e veio alterar o Decreto-lei 141/2010.

Em 2004, a Diretiva 2004/8/CE do Parlamento Europeu e do conselho de 11 de fevereiro teve como destino a promoção e desenvolvimento da cogeração de alta eficiência de calor e de eletricidade, baseando-se na procura de calor útil e na poupança de energia primária no mercado interno da energia. A Diretiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do conselho de 5 de abril teve como objetivo implementar uma maior relação custo-eficácia relativa à melhoria da eficiência na utilização final de energia nos Estados Membros. Estas duas últimas vieram a ser revogadas pela Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do conselho de 25 de outubro que estabelece algumas medidas de promoção de eficiência energética de forma a dar cumprimento ao maior objetivo da União Europeia. O mesmo baseia-se em atingir 20 % em termos de eficiência energética até 2020. A transposição da Diretiva 2012/27/UE foi assegurada pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015.

A Diretiva 2002/91/CE, relativa à promoção do desempenho energético dos edifícios, obriga os Estados Membros da União Europeia a emitirem certificados energéticos. Estes avaliam a eficiência energética de um imóvel com base nos seus consumos energéticos associados à climatização e à água quente sanitária, incluindo também medidas de melhoria. Devem ser atribuídos nas situações seguintes:

1. Obtenção de licença de utilização em edifícios novos;
2. Numa reabilitação importante de edifícios existentes (custo > 25 % do valor do edifício, sem terreno);
3. Na locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes (validade do certificado: máxima de 10 anos);
4. Periodicamente (6 anos), para todos os edifícios públicos (de serviços) com mais de 1000 m².

Esta diretiva foi transposta para a ordem jurídica nacional pelos seguintes documentos:

- Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). O SCE estabelece regras e métodos para a verificação efetiva dos dois regulamentos seguintes;

- Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). O RSECE veio esclarecer um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação providos de sistemas de climatização;
- Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de abril aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) definindo os requisitos de qualidade para novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização.

O RSECE e o RCCTE entraram em vigor no dia 4 de julho de 2006, enquanto o SCE foi aplicado gradualmente, consoante a dimensão do edifício, tendo em 1 de janeiro de 2009 sido aplicado a todos os edifícios.

Com a Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do conselho de 19 de maio de 2010 pretendeu-se promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União Europeia. O Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto que transpôs a Diretiva 2010/31/EU, e procedeu a uma revisão da legislação nacional, pretende obter melhorias, ao nível da sistematização e âmbito de aplicação, ao englobar num diploma o Sistema de Certificação Energética (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A Figura 2.2 resume a principal legislação nacional e comunitária relativamente a assuntos dedicados à eficiência energética de edifícios.

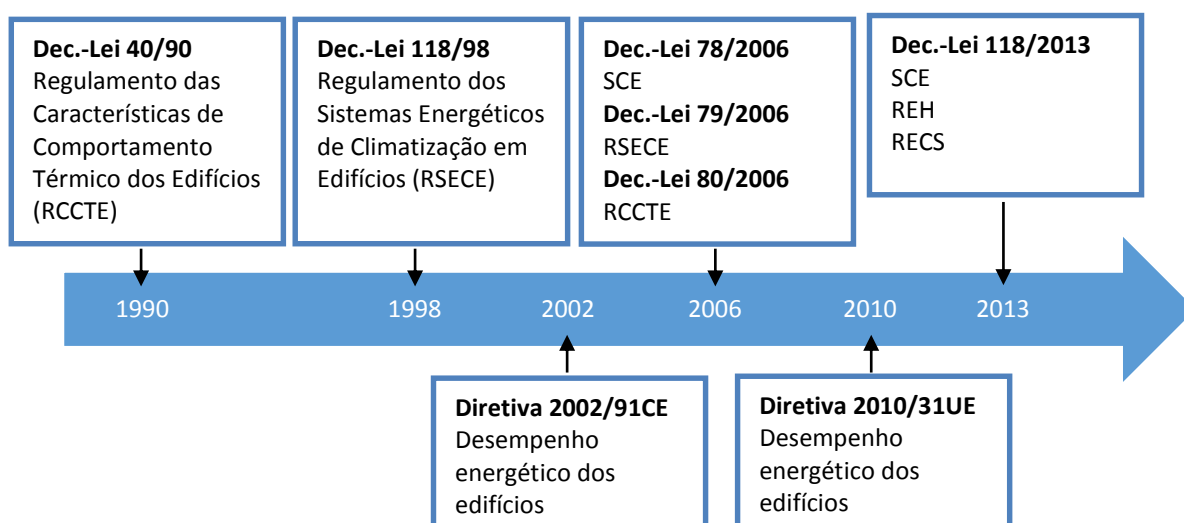


Figura 2.2. Resumo da legislação nacional referente à eficiência energética de edifícios.

2.2. Programas para o aumento da eficiência energética

Para aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de GEE para a atmosfera têm sido criados vários programas e protocolos tanto a nível nacional como internacional.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas relativa às alterações climáticas tem como principal objetivo estabilizar a concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera para que se evite uma alteração perigosa no sistema climático. Desta Convenção resultou o Protocolo de Quioto contendo medidas para a limitação e redução de emissões de gases com efeito de estufa a aplicar pelos países industrializados. Os principais gases aos quais este protocolo se aplica são os seguintes:

- Dióxido de carbono, CO₂;
- Metano, CH₄;
- Óxido nitroso, N₂O;
- Perfluorcarbonetos, PFCs;
- Hidrofluorcarbonetos, HFCs;
- Hexafluoreto de enxofre, SF₆.

Este protocolo entrou em vigor a 16 de fevereiro de 2005 e impunha a redução das emissões globais de GEE em pelo menos 5 % comparativamente aos níveis de 1990, no período de 2008-2012 (EUR-Lex, 2011). Este acordo acabou por ser recusado por aquele que é considerado o país mais poluente, os Estados Unidos da América, com a justificação do seu custo e de não obrigar a China ou a Índia, às mesmas medidas por serem considerados países em desenvolvimento (Porto Editora, 2003-2015b).

Portugal comprometeu-se a limitar o aumento de emissões de GEE em 27 %, no período de 2008 a 2012 em relação às emissões de 1990.

Segundo o Público (2014), Portugal cumpriu o Protocolo de Quioto. As indústrias, aterros sanitários, automóveis, campos agrícolas e outras atividades no país que tinham as emissões limitadas a 382 milhões de toneladas de dióxido de carbono relativas à soma do período 2008 a 2012 ficaram, pelos 362 milhões de toneladas. Estes resultados são mais favoráveis se for descontado o CO₂ absorvido pelas florestas e o efeito das transformações do uso do solo (283 milhões de toneladas).

O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) foi adotado em 2004 pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de julho e aprovado em

2006 pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de agosto. Tal como o nome indica, incide sobre as alterações climáticas, por isso, contém um conjunto de políticas e medidas que se aplicam nos mais diversos sectores de atividade. O Programa quantifica esforços relativamente a emissões de GEE e a sua aplicação visou o cumprimento do Protocolo de Quioto. A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) ficou responsável por definir instrumentos que estimulem a eficiência energética, com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica até 2010. Na Resolução de Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de janeiro, foram aprovadas algumas novas metas (conhecidas como Novas Metas 2007) em relação ao PNAC de 2006 e foram revistas algumas das existentes (ERSE, 2009).

Em 2008, na Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 de 20 de maio, foi aprovado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). Enquadra-se no âmbito da Diretiva n.º 2006/32/CE e engloba uma série alargada de programas e medidas que tornam possível o cumprimento, por parte de Portugal, do objetivo da referida Diretiva. Estes passam pela redução anual do consumo de energia em 1 % até ao ano de 2016, tendo como base a média dos valores de consumo de energia final entre 2001 e 2005 (aproximadamente 18,347 tep). O PNAEE incide em quatro principais áreas específicas que serão alvo de indicações essencialmente tecnológicas:

- Transportes;
- Residencial e Serviços;
- Indústria;
- Estado.

A meta deste Plano era até 2015, a aplicação de medidas de melhoria em termos de eficiência energética equivalentes a 10 % do consumo de energia.

Abrangido no PNAEE, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 de 12 de janeiro. O ECO.AP foi desenvolvido visando o cumprimento dos objetivos de eficiência energética ao nível da Administração Pública. Este programa contém uma combinação de medidas e ações para melhorar a certificação energética dos edifícios, iluminação pública e frotas de transporte do estado. Prevê-se desta forma, relativamente ao consumo atual dos edifícios e equipamentos públicos, um aumento da eficiência energética no sector público de 30 % até 2020 (ADENE, 2015).

A Estratégia Europa 2020 foi estabelecida pela Comissão Europeia no ano 2010 tendo em vista a década seguinte e abrange temas relacionados com o crescimento e o emprego. Dada a crise económica que se atravessa, com esta estratégia pretende-se a recuperação gradual das economias bem como um desenvolvimento inteligente e sustentável. As cinco grandes metas para 2020 são nas áreas de emprego, investigação e desenvolvimento, educação, luta contra a pobreza e exclusão social e, por fim, alterações climáticas e sustentabilidade energética (Comissão Europeia, 2014).

Relativamente à questão das alterações climáticas e sustentabilidade energética, as metas para Portugal e para a Europa estão presentes na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Metas para Portugal e para a Europa para 2020 (Comissão Europeia, 2015).

Alterações climáticas e sustentabilidade energética	Portugal	Europa
Redução das emissões de GEE	+1 % (em relação a 2005)	-20 % (em relação a 1990)
Energia obtida a partir de fontes de energia renováveis	31 %	20 %
Aumento da eficiência energética	Redução do consumo de energia em 6,00 Mtep	20% (equivalente a 368,00 Mtep)

2.3. Normas sobre a gestão de energia e eficiência energética

Quando se pretende fazer estudos comparativos em vários tipos de edifícios, em diferentes localizações e por diferentes pessoas, deve ter-se em conta sempre os mesmos princípios para que seja possível fazer uma comparação justa. No entanto, quando se recorre a normas e estas são cumpridas, pode-se garantir uma justiça e clareza dos resultados obtidos. Exemplo disso verifica-se na Diretiva 2012/27/UE que estimula os Estados-Membros a criarem planos que levem as pequenas e médias empresas (PME) a sujeitarem-se a auditorias energéticas. Estas auditorias devem basear-se em normas, europeias ou internacionais, como por exemplo a EN ISO 50001 (Sistemas de gestão da energia), a EN 16247-1 (Auditorias Energéticas) ou a EN ISO 14000 (Sistemas de gestão do ambiente).

Muito embora existam várias normas relacionadas com piscinas, foram selecionadas algumas com interesse para o tema em estudo:

- NP 4448:2007 – “Aquecimento solar; Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas; Regras de dimensionamento, conceção e instalação”. Instituto Português da Qualidade;
- EN 15288-1:2008+A1:2010 – “*Swimming pools - Part 1 Safety requirements for design*”;
- EN 15288-2:2008 – “*Swimming pools - Part 2 Safety requirements for operation*”.

A primeira norma referida, para além do retratado no seu título, contém uma metodologia que permite estimar, em piscinas, as perdas por evaporação, radiação, convecção e ainda as perdas devidas à adição de água de reposição.

As duas seguintes, apesar de não se focarem especificamente em eficiência energética, abordam os requisitos de segurança para a conceção (EN 15288-1) e para o funcionamento (EN 15288-2) de piscinas. São normas importantes para a fase de projeto e para a gestão de piscinas.

Para além destas, apresentam-se de seguida outras normas relativas aos temas auditorias energéticas e eficiência energética:

- EN 16247-1:2012 – “*Energy audits - Part 1: General requirements*”;
- EN 16247-2:2014 – “*Energy audits - Part 2: Buildings*”;
- EN 16231:2012 – “*Energy efficiency benchmarking methodology*”;
- EN 15900:2010 – “*Energy efficiency services - Definitions and requirements*”;
- EN ISO 50001:2011 – “*Energy management systems - Requirements with guidance for use*”;
- ISO 50002:2014 – “*Energy audits - Requirements with guidance for use*”;
- EN 16212:2012 – “*Energy efficiency and savings calculation, Top-down and Bottom-up Methods*”;
- EN 15217:2007 – “*Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*”.

2.4. Investigação sobre a eficiência energética e consumos específicos de complexos desportivos com piscinas interiores

Existem vários estudos realizados com a temática desta dissertação. Seguidamente, vão ser apresentadas algumas das investigações mais pertinentes, na ótica do autor deste documento, que contêm informações fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

O primeiro estudo analisado foi efetuado por Fiaschi *et al.* (2012) em Certaldo, Itália. Concluiu-se que 60 % do consumo de gás natural em edifícios públicos é usado para o aquecimento de escolas e 18 % para o aquecimento de instalações desportivas. Nesse mesmo estudo foi realizado um inquérito a 11 municípios considerados semelhantes a Certaldo em termos de: habitantes, edifícios, escolas e instalações desportivas. Determinou-se que 73 % dos municípios já efetuaram pelo menos uma ação com a finalidade de reduzir o consumo de energia e/ou integrar energias renováveis nos edifícios de serviços geridos pela administração pública. A maior parte destas operações, cerca de 55 %, foi feita em escolas e estádios, seguidamente em instalações desportivas, piscinas e edifícios municipais (representando 18 % das intervenções). Os principais tipos de intervenções encontram-se representadas na Figura 2.3:

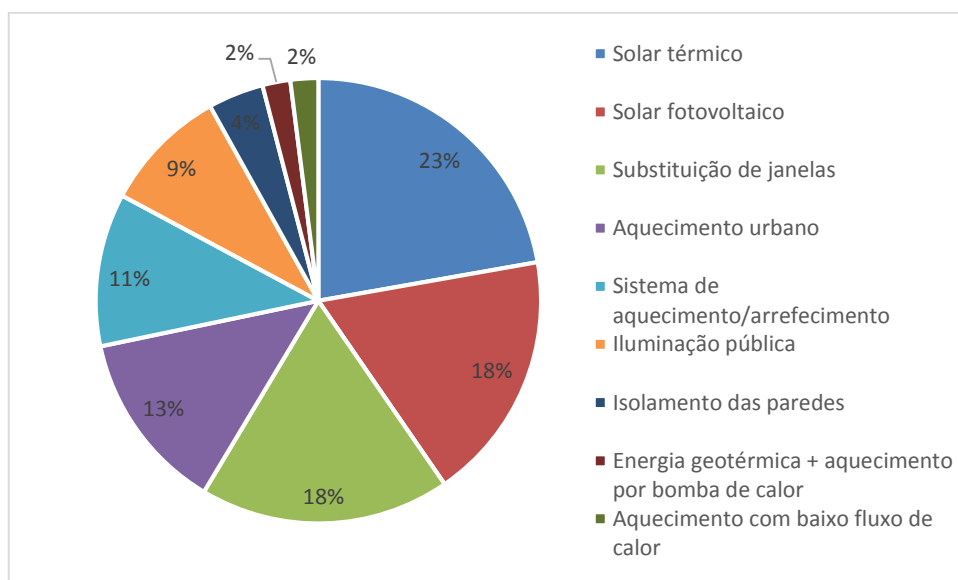


Figura 2.3. Principais intervenções realizadas para aumento da eficiência energética (Fiaschi *et al.*, 2012).

Como se pode observar na Figura 2.3, o aquecimento solar térmico, os painéis solares fotovoltaicos e a substituição das janelas foram as principais medidas adotadas pelos municípios.

Oliver-Solà *et al.* (2013) realizou um caso de estudo em Barcelona que teve como objetivo avaliar energética e ambientalmente algumas instalações municipais. Para cada instalação foi criada uma folha de cálculo com descrições climáticas, tamanho do município, tipo de instalação, arquitetura, consumo de energia pelas diversas fontes e emissões de dióxido de carbono (de acordo com o consumo de energia). Dentro das instalações desportivas analisadas, o tipo de instalação em que se verifica um maior consumo médio de energia por cada metro quadrado de área coberta da instalação (666,1 kWh/m²) são as piscinas interiores.

Como se pode verificar na Figura 2.4, o consumo energético das piscinas interiores é bastante superior ao consumido pelos restantes complexos desportivos.

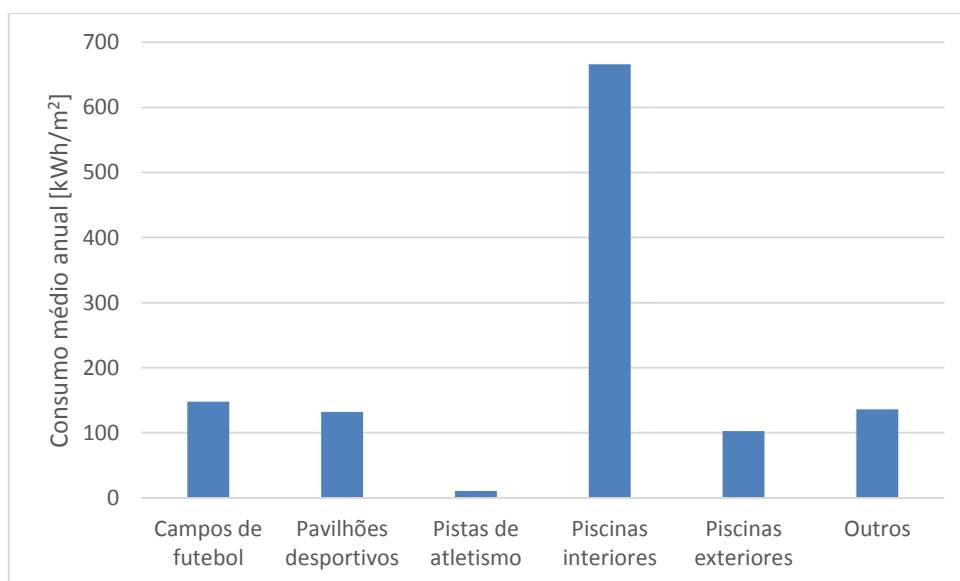


Figura 2.4. Consumo específico para os diferentes complexos analisados (Oliver-Solà *et al.*, 2013).

A Figura 2.5 permite avaliar a dispersão da informação recolhida para cada tipo de instalação, verificando-se comparativamente uma maior dispersão nos valores relativos a piscinas interiores.

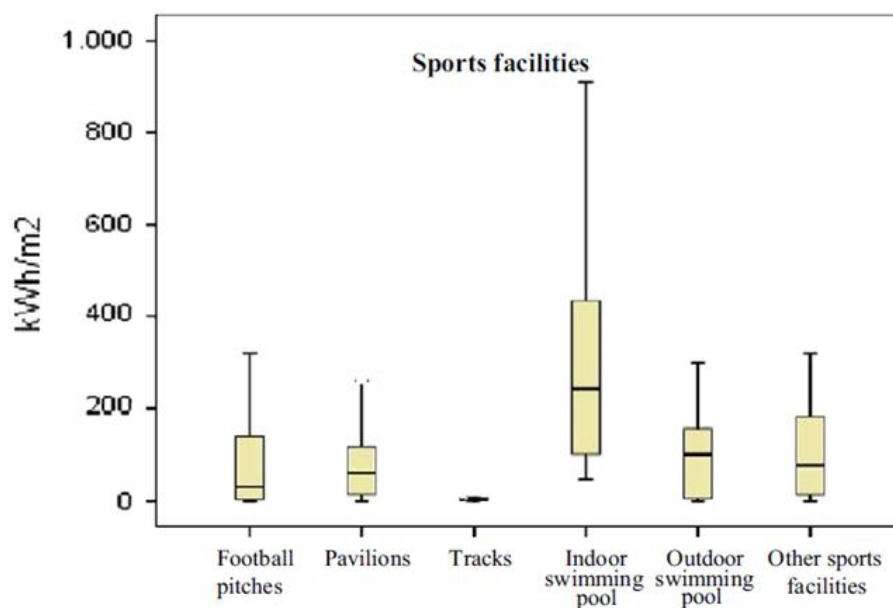


Figura 2.5. Dispersão para os diferentes consumos específicos (Oliver-Solà *et al.*, 2013).

Trianti-Stourna *et al.* (1998) afirmam que, no global, o consumo de energia específico para diferentes tipos de piscinas cobertas em climas continentais varia de 600 a 6000 kWh/m² (de área coberta).

Valores para o consumo típico de energia em piscinas interiores são apresentados na Tabela 2.2. Os valores apresentados a seguir têm como base o Reino Unido.

Tabela 2.2. Consumo típico de energia em piscinas interiores no Reino Unido. Fonte: Energy Efficiency Best Practice Programme. Good Practice Guide 219 – Energy Efficiency in Swimming Pools – for Centre Managers and Operators (September 1997, *cit in* Seneviratne, 2007).

[kWh/m ²]		
Bom	Equilibrado	Mau
<510	510-745	>745

O consumo médio de energia anual por área de superfície de piscina para climas mediterrâneos é de 4300 kWh/m² ou de 5200 kWh/m² para climas continentais IECU (1994, *cit in* Trianti-Stourna *et al.*, 1998). O mesmo autor refere que o consumo de energia para piscinas interiores é cerca de três vezes superior ao de uma piscina exterior com o mesmo tamanho. A distribuição do consumo típico de energia para piscinas interiores pode ser visto na Figura 2.6:

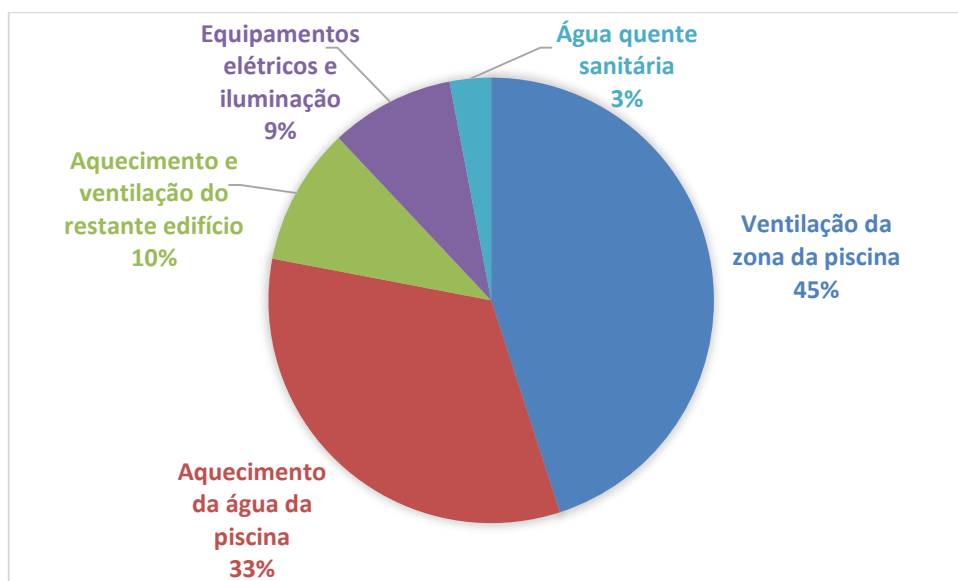


Figura 2.6. Consumo típico de energia em piscinas interiores. Fonte: EEO (1998, *cit in* Trianti-Stourna *et al.*, 1998).

Trianti-Stourna *et al.* (1998) realizaram na Grécia, auditorias energéticas e análises com o objetivo de melhorar as condições de conforto térmico e otimizar o consumo de energia em piscinas interiores. Analisou cinco piscinas (construídas antes de 1985) que apresentam, todas elas, diferentes características. Este trabalho permitiu apurar que a energia elétrica consumida anualmente foi de 57,5 kWh/m² de área coberta. O consumo energético anual para o caso em estudo foi de 450,1 kWh/m² de área coberta e de 1094,5 kWh/m² de área de piscina, sendo este último bastante diferente do supracitado por IECU (1994, *cit in* Trianti-Stourna *et al.*, 1998).

O estudo apresentado posteriormente foi realizado por Saari & Sekki (2008) em Helsínquia, na Finlândia, baseou-se na análise das instalações de uma piscina recém-construída. A energia consumida anualmente para aquecimento foi de 396 kWh/m² de área coberta e de 2784 kWh/m² de área de piscina. O aquecimento da água contribuiu com cerca de 56 % da energia total para aquecimento. Por outro lado, o consumo anual de energia elétrica foi de 240 kWh/m² de área coberta e de 1691 kWh/m² de área de piscina. Os resultados deste estudo encontram-se esquematizados na Tabela 2.3:

Tabela 2.3. Síntese dos resultados obtidos no estudo de Saari & Sekki (2008).

Consumo anual [kWh/m ²]	Baseado na área coberta	Baseado na área de piscina
Aquecimento	396	2784
Elétrico	240	1691
Total	636	4475

Com o objetivo de encontrar as piscinas mais eficientes, Kampel, Aas, & Bruland (2014) enviaram questionários para todas as piscinas da Noruega. As instalações foram agrupadas em três categorias: (1) contendo apenas uma piscina; (2) contendo duas ou três piscinas e, por fim, (3) maiores instalações desportivas, com várias piscinas e atrações de água. Kampel *et al.* (s.d., *cit in* Kampel, Aas, & Bruland, 2014) sugeriram um novo indicador de consumo de energia, o FAEC (*final annual energy consumption*), que resulta da expressão:

$$FAEC = \frac{\text{Energia consumida}}{\text{Área sup. da piscina} \times n^{\circ} \text{ horas funcionamento}} \quad (2.1)$$

Nesta expressão, a energia consumida e as horas de funcionamento são as relativas ao ano em estudo. O resultado expressa-se em kWh/(m².h). Na opinião do autor deste documento, o indicador apresentado faz todo o sentido pois baseia-se, não só na energia total consumida e na área de superfície da piscina, mas também no número de horas de abertura do complexo ao público. Desta forma, faz-se uma comparação mais justa atendendo ao tempo em que o complexo pode ser usado.

Os resultados obtidos por Kampel, Aas, & Bruland (2014), em termos energéticos, estão representados na Tabela 2.4. Foram também analisados dados relativamente ao consumo de água, estes encontram-se na Tabela 2.5.

Tabela 2.4. Síntese dos resultados de consumo energético obtidos no estudo de Kampel, Aas, & Bruland (2014).

Categoria	1		2		3	
	1	2	3	4	5	6
Instalação						
FAEC [kWh/m ² (sup. água)/h]	2,93	1,40	0,86	0,78	0,89	0,47

Categoria 1- Contém apenas uma piscina;

Categoria 2- Contém duas ou três piscinas;

Categoria 3- Maiores instalações desportivas, com várias piscinas e atrações de água.

Tabela 2.5. Síntese dos resultados do consumo de água obtidos no estudo de Kampel, Aas, & Bruland (2014).

Categoria	1		2		3	
	1	2	3	4	5	6
Instalação						
Consumo de água anual [m ³]	3563	6500	13278	11817	48418	16250
Consumo de água por pessoa [L]	65	145	133	91	133	77

Categoria 1- Contém apenas uma piscina;

Categoria 2- Contém duas ou três piscinas;

Categoria 3- Maiores instalações desportivas, com várias piscinas e atrações de água.

Relativamente ao consumo de água, a média anual para uma piscina é aproximadamente 3100 m³, dos quais 70 a 80 % são para o enchimento da piscina (Sports Council (1993, *cit in* Trianti-Stourna *et al.*, 1998)). Segundo IECU (1994, *cit in* Trianti-Stourna *et al.*, 1998) o consumo médio de água para banhos é de 40 L por utilizador, enquanto as necessidades de energia anuais variam de 0,7 a 1,4 kWh por utente. O mesmo autor refere que a evaporação específica de água é de 13 g/(m²/h/mbar) durante o horário de funcionamento da piscina e de 6,5 g/(m²/h/mbar) nas restantes horas, ou seja, é o dobro durante o horário de funcionamento da piscina.

Na literatura encontram-se principalmente dois tipos de indicadores para a descrição dos consumos energéticos de piscinas. Um deles representa o consumo de energia por unidade de área coberta (*usable area*), enquanto o outro representa o consumo de energia por unidade de área de piscina (*water surface*). M. Øen (2010, *cit in* Kampel, Aas, & Bruland, 2013) fez uma análise entre os dois tipos de indicadores para uma variedade de complexos de piscinas. Recorrendo à área coberta, os resultados obtidos não são muito

conclusivos e podem ser indutores de erro. Por outro lado, quando se recorre à área da piscina, conseguem-se obter resultados mais esclarecedores e com menor possibilidade de erro. A principal desvantagem do uso de indicadores recorrendo à área coberta é a sua menor oscilação relativamente ao outro indicador, apesar de esse problema poder ser contornado alterando a escala do gráfico. Os resultados da análise podem ser observados na Figura 2.7:

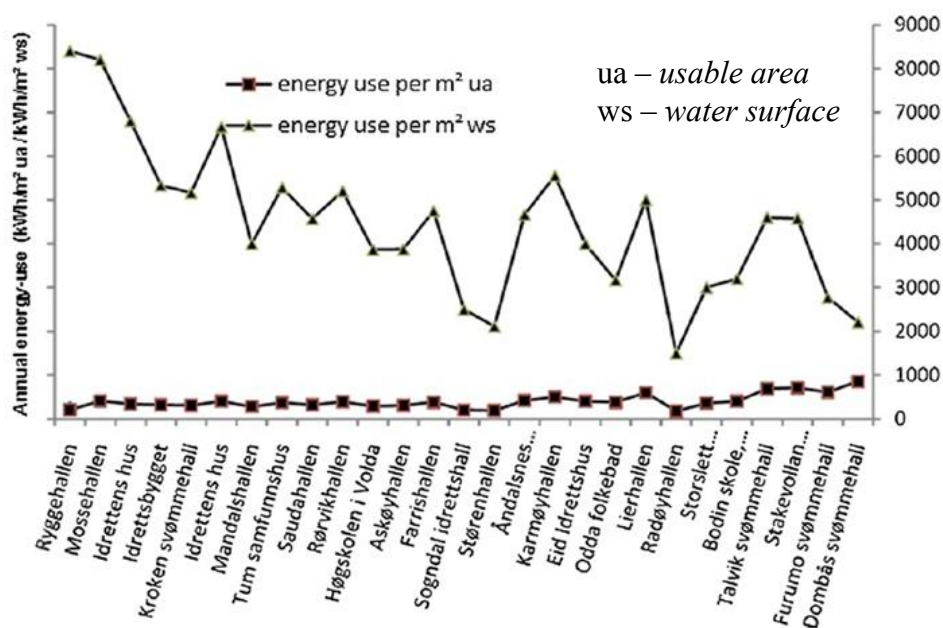


Figura 2.7. Comparação entre os dois tipos de indicadores. M Øen (2010, cit in Kampel, Aas, & Bruland, 2013).

Analisando a Figura 2.7 verifica-se que os indicadores que recorrem à área de piscina são bem mais oscilantes. Contudo, devem-se analisar com cuidado ambos os indicadores. No caso do complexo de Ryggehallen, o indicador energético baseado na área de piscina indica que esta é uma das piscinas mais consumidoras, por outro lado, o indicador baseado na área coberta indica o inverso. Daí a necessidade de se avaliar os dois indicadores referidos.

2.5. Efeito da evaporação em piscinas interiores e humidade relativa recomendável

O fenómeno da evaporação ocorre por toda a natureza e consiste na passagem, lenta, de uma substância que se encontra no estado líquido para o estado gasoso. Este fenómeno realiza-se em qualquer temperatura e pressão dependendo da substância envolvida (Nova Enciclopédia Portuguesa, 1992). O aumento da temperatura tem como consequência

a subida da taxa de evaporação, pois a ampliação do nível de energia cinética média também aumenta a quantidade das moléculas com energia suficiente para se evaporarem (Porto Editora, 2003-2015a).

A evaporação da água, que ocorre em piscinas interiores aquecidas, leva a um aumento significativo do consumo de energia. Este aumento é provocado pela libertação de energia no momento da evaporação (arrefecimento da água da piscina), mas também devido à necessidade de reposição da água evaporada, com água da rede (a temperatura mais baixa). O ambiente também se torna mais húmido e por isso é necessário recorrer à desumidificação do local (Beleza *et al.*, 2007; Soares, 2004, *cit in* Carrinho, 2010).

Segundo Chivetta (2004, *cit in* Carrinho, 2010) e Shah (2003, *cit in* Carrinho, 2010), o movimento da água provocado pela presença de nadadores, o chão molhado e os utentes molhados que saem da piscina, contribuem para o aumento da evaporação. De uma forma mais específica, Chivetta (2004, *cit in* Carrinho, 2010) afirma que, quando a humidade relativa aumenta cerca de 10 %, as necessidades de climatização aumentam em 30 %. Este autor assegura também que quando o nível de humidade relativa se encontra abaixo dos 50 % os utentes sentem frio (devido à taxa elevada com que a água evapora na pele) e quando está acima dos 60 % o ar parece muito abafado, causando dificuldades respiratórias. Desta forma, o nível de humidade relativa deve variar entre os 50 % e os 60 % para que o ambiente se encontre confortável.

2.6. Contribuição da cobertura térmica para a redução do consumo de energia em piscinas interiores

Colocar uma cobertura sobre o plano da água da piscina nas horas em que a piscina não está a ser utilizada contribui para a redução da perda energia térmica da água e redução da evaporação. (Souza & Guerra, 2007; Teixeira, 1994, *cit in* Carrinho, 2010). Segundo PowerPlastics Pool Covers (2015), para além de reduzir a evaporação (até 98 %), a colocação de uma cobertura faz com que a água se mantenha mais limpa, reduzindo os tempos de filtração, e consequentemente reduzindo os custos de manutenção da piscina. Com a colocação de uma cobertura o cloro colocado na água funciona de forma mais eficaz e a sua poupança pode ser até cerca de 60 %.

Existem vários tipos de coberturas sobre o plano da água. Quanto ao seu enrolamento, podem ser de três tipos: manuais, semiautomáticas e automáticas. As

coberturas manuais são normalmente aplicadas em piscinas de dimensão mais reduzida. Menos utilizadas, as coberturas semiautomáticas são adequadas a piscinas de dimensão baixa ou média e usam um motor para o seu manuseamento. Normalmente esta tipologia necessita que alguém puxe a cobertura quando está a ser desenrolada. Pool Cover Specialists (2015) possui um sistema semiautomático em que um simples aparafusador é aplicado pelo operador num redutor de engrenagens, efetuando assim o enrolamento da cobertura. Caso este sistema contenha dois redutores de engrenagens, em cada topo da piscina, o enrolar e desenrolar da cobertura faz-se sem necessidade de intervenção humana (apenas é necessário alterar o redutor em que o aparafusador está aplicado). Por fim, a cobertura automática apenas necessita que o operador pressione um botão tanto para enrolar como para desenrolar a cobertura.

Relativamente ao material da cobertura, esta pode ser de três categorias principais: bolhas, espuma e estores/lâminas. Diferem entre si na sua constituição, preço e tipo de enrolamento. As coberturas de bolhas (fabricadas à base de polietileno alveolado) são as mais baratas, mas apresentam menor durabilidade devido à rutura das bolhas (Carrinho, 2010), podendo ser colocadas de forma manual ou automática. Segundo Carrinho (2010) as coberturas feitas de espuma de polietileno podem ser colocadas de forma manual ou automática e encontram-se na média em relação ao custo (comparando com as outras duas tipologias de coberturas). As coberturas em estores/lâminas são fabricadas em PVC e normalmente exigem que a sua colocação seja automática, sendo, por estes motivos, a opção mais cara.

Uma síntese dos tipos de coberturas e sua caracterização está apresentada na Tabela 2.6:

Tabela 2.6. Tipos de coberturas e suas características (Carrinho, 2010).

Caraterística	Bolhas	Espuma	Estores/lâminas
Material	Polietileno alveolado/PVC	Espuma de polietileno	PVC
Tipo de operação	Manual/Automática	Manual/Automática	Automática
Custo	Mais barata	Intermédia	Mais cara

2.7. Medidas típicas para aumentar a eficiência energética de complexos desportivos com piscinas interiores

A melhoria de eficiência energética em piscinas interiores pode ser feita de variadas formas. Os principais aspetos em que se pode atuar são os seguintes:

- Otimização do tempo de utilização dos equipamentos;
- Troca por equipamentos mais eficientes;
- Manutenção adequada;
- Aplicação de novas tecnologias;
- Otimização da gestão dos utilizadores do complexo.

O tempo de utilização dos equipamentos pode ser ajustado para que não permaneçam em funcionamento quando não são necessários. A colocação de sensores de deteção de presença em espaços iluminados permite reduzir o consumo de eletricidade. A aplicação de torneiras temporizadas ou eletrónicas possibilita evitar a existência de torneiras abertas por esquecimento, neste caso dá-se a poupança de água e até mesmo de energia (caso a torneira seja de água quente).

A otimização dos equipamentos pode ser uma medida de enorme poupança. Exemplo disso é a aplicação de variadores de velocidade nas bombas de circulação de fluídos ou nos ventiladores das UTA's. Pode-se assim evitar que estes estejam a trabalhar na potência máxima desnecessariamente. A troca de equipamentos antigos por equipamentos mais eficientes conduz a uma poupança imediata da fatura energética (principalmente de caldeiras, bombas de circulação, ventiladores, iluminação e termoacumuladores). Com uma análise financeira é possível classificar os investimentos (p.e. recorrendo ao tempo de retorno). Uma manutenção correta e programada faz com que os equipamentos realizem as suas funções com os consumos e tempos previstos. Uma manutenção desadequada poderá causar o mau funcionamento dos equipamentos, levando a um maior consumo de energia e a uma maior probabilidade de avaria.

A aplicação de uma cobertura isotérmica, de um sistema de painéis solares térmicos ou fotovoltaicos ou de um sistema de cogeração, são exemplos de novas tecnologias com potencial a aplicar em piscinas interiores.

Uma boa gestão dos utilizadores do complexo pode evitar horas de ponta e horas mortas, fazendo com que o perfil de ocupação seja constante e torne possível, por exemplo, reduzir o volume de acumulação de AQS.

Segundo Beusker, Stoy, & Pollalis (2012) existem alguns fatores que contribuem significativamente para o aumento do consumo de energia final para aquecimento do espaço interior do edifício, sendo eles:

1. Condições dos sistemas de fornecimento de calor;
2. Tipo de fonte de energia (no caso de gás: +34 %¹);
3. Capacidade de armazenamento de calor (baixa inércia térmica: +48 %);
4. Percentagem de superfícies de vidro do edifício;
5. Âmbito do uso do edifício (piscinas interiores: +84 %).

A aplicação de vidros duplos pode proporcionar poupanças de 14 a 20 %. Uma boa manutenção na instalação da central de aquecimento pode significar, também, uma poupança de 10 a 12 % na energia consumida para o aquecimento do espaço interior. A potencial poupança de energia térmica após a troca de uma caldeira em condições degradadas pode ir de 17 a 21 %, dependendo do tipo de caldeira (Balaras, et al., 2007).

Uma forma de diminuir o volume do espaço a climatizar e, conseqüentemente, reduzir os respetivos custos passa pela colocação de uma cortina que isole a bancada da nave. Esta é uma medida que pode ser aplicada durante a noite e nas alturas em que não há espectadores no complexo. Os principais problemas desta medida poderão ser a estanquicidade e a dificuldade ao abrir e fechar a cortina.

Existem medidas que devem ser aplicadas desde a fase de projeto, como a orientação da piscina, alguns dos seus equipamentos ou das suas soluções construtivas (isolamentos, envidraçados, etc.). A sua alteração posterior conduzirá a custos mais elevados.

Em alguns casos é necessário um elevado investimento a fim de obter melhores resultados, daí muitas vezes algumas propostas de melhoria não serem colocadas em prática.

¹ Em comparação com o fornecimento de calor através de aquecimento urbano.

3. CASO DE ESTUDO – PMLLC

3.1. Caracterização do edifício

A inauguração da PMLLC deu-se a 30 de agosto de 2005, pelo Dr. Carlos Encarnação, presidente da câmara municipal de Coimbra naquela altura. A sua designação deve-se a uma personalidade que é uma referência da natação nacional, Luís Lopes da Conceição. Foi campeão nacional, recordista regional e nacional, nadador internacional, professor e também treinador durante mais de 40 anos de diversos campeões nacionais e nadadores internacionais.

A PMLLC está pronta para natação de formação, competição e de lazer. É constituída por uma piscina de 25x16,7 metros que tem uma profundidade média de 1,80 metros e cada pista tem uma largura 2,10 metros, num total de 8 pistas. Juntamente com a piscina de 25 metros, o complexo é composto por um tanque com 16,7x9,5 metros que tem uma profundidade variável de 0,70 a 1,10 metros, e tem 4 pistas.

Além da piscina e do tanque, o complexo está provido de bancadas para 160 espectadores e 50 nadadores, zona técnica de vigia e primeiros socorros, balneários diversos, zona de convívio e bar.

O horário de funcionamento da PMLLC está apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Horário de funcionamento da PMLLC.

Dia	Abertura	Fecho
Segunda a sexta	07h30	22h30
Sábados	07h30	18h00
Domingos e feriados	Encerrado	

A PMLLC é constituída por 3 pisos, sendo que a piscina está no segundo piso bem como a sala que aloja as caldeiras, a receção, balneários, zona técnica de vigia e primeiros socorros. Os equipamentos de filtração da água e a adição de produtos químicos

para controlo de qualidade estão localizados no primeiro piso. No terceiro piso estão as unidades de tratamento de ar, a zona de convívio e o bar.

A planta do complexo foi um dos elementos fornecidos pelos técnicos da Câmara Municipal de Coimbra (CMC). Dessa forma, para uma melhor perceção das dimensões das piscinas, relativamente à área total coberta do edifício, apresenta-se na Figura 3.1 a planta do piso 2.

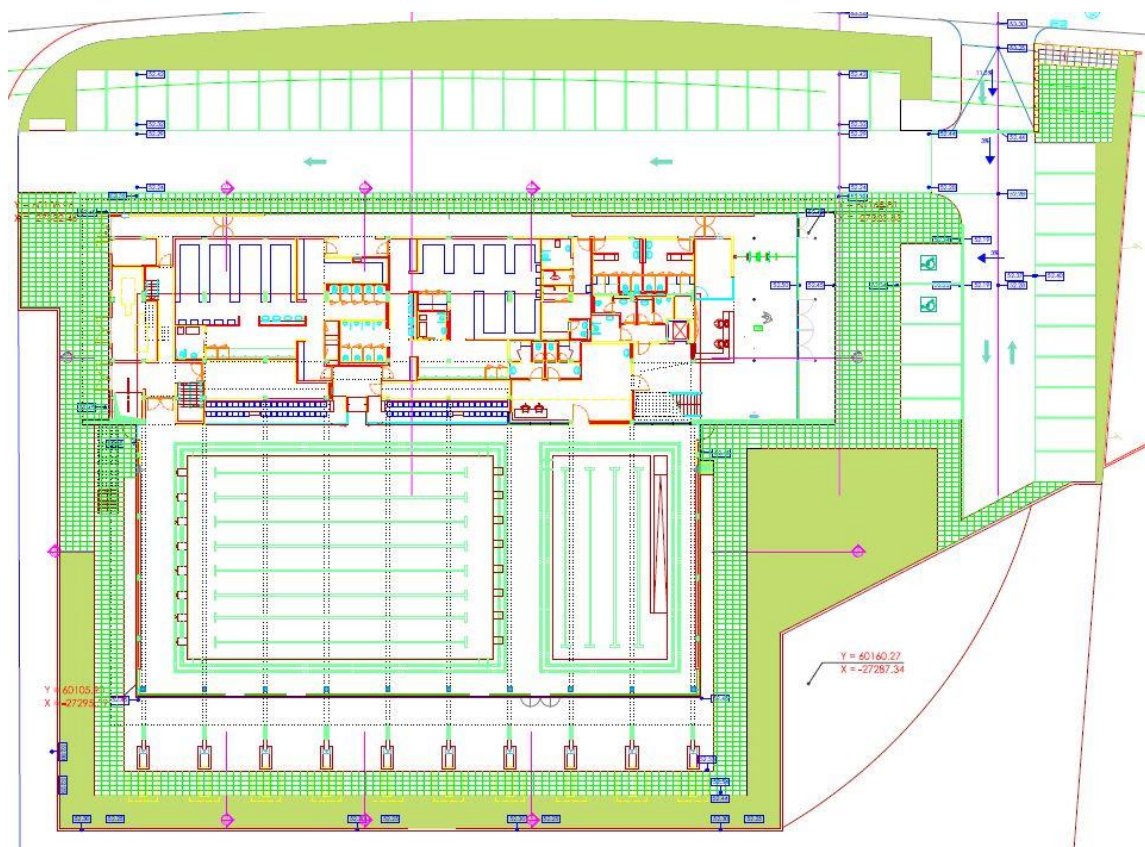


Figura 3.1. Planta do piso 2 da PMLLC.

A entrada no complexo é efetuada pela ala do lado direito da imagem, que está ligada à receção. Na receção, do lado esquerdo estão as escadas de acesso ao piso 3, depois a porta de acesso à zona técnica de vigia e primeiros socorros, seguidamente está o balcão dos rececionistas e por fim, os torniquetes de acesso ao corredor dos balneários. A piscina que se visualiza do lado esquerdo da imagem é a de 25 metros e a do lado direito é o tanque de aprendizagem.

O ar ambiente da PMLLC tem, normalmente, uma temperatura de 28 °C. A humidade relativa de projeto é 65 ± 10 % sendo, o seu valor típico de operação de 75 %, valor um pouco elevado de acordo com a bibliografia. Como a piscina e o tanque de aprendizagem

destinam-se a diferentes finalidades, as respetivas temperaturas da água também serão diferentes. A piscina de 25 metros tem a água a uma temperatura de 28,5 °C, contra os 29,5°C do tanque de aprendizagem.

3.2. Metodologia

No arranque deste trabalho foram marcadas algumas reuniões com os engenheiros responsáveis pela PMLLC, nas quais foram facultadas algumas informações indispensáveis à sua realização, nomeadamente os dados das faturas. Entre estas reuniões existiram também visitas à PMLLC que permitiram uma compreensão do funcionamento de muitos dos seus equipamentos bem como a sua conjugação com os circuitos de água, térmicos e de ventilação.

Os dados das faturas foram trabalhados para os respetivos períodos mensais pois a periodicidade de algumas faturas não era mensal e nem sempre nas mesmas datas (nomeadamente as de eletricidade). Relativamente aos consumos de GN, para além da análise dos dados das faturas foi trabalhada informação dos registos diários efetuados pelos funcionários da PMLLC. Esta informação foi bastante útil na compreensão de algumas irregularidades presentes nas faturas.

O tratamento dos dados e análise dos consumos foram usados para detetar anomalias nos perfis de consumo e também para a comparação da PMLLC com outras piscinas estudadas noutros trabalhos.

3.3. Utilizadores do complexo

A partir da informação que foi disponibilizada, é possível fazer uma análise gráfica do número de pessoas que utilizam o complexo. Essa informação é mostrada na Figura 3.2. Esta permite apurar um ligeiro aumento do número de utilizadores do complexo no ano de 2014 comparativamente a 2013. Nos dois anos estudados, a média de utilizadores foi de 186 por dia.

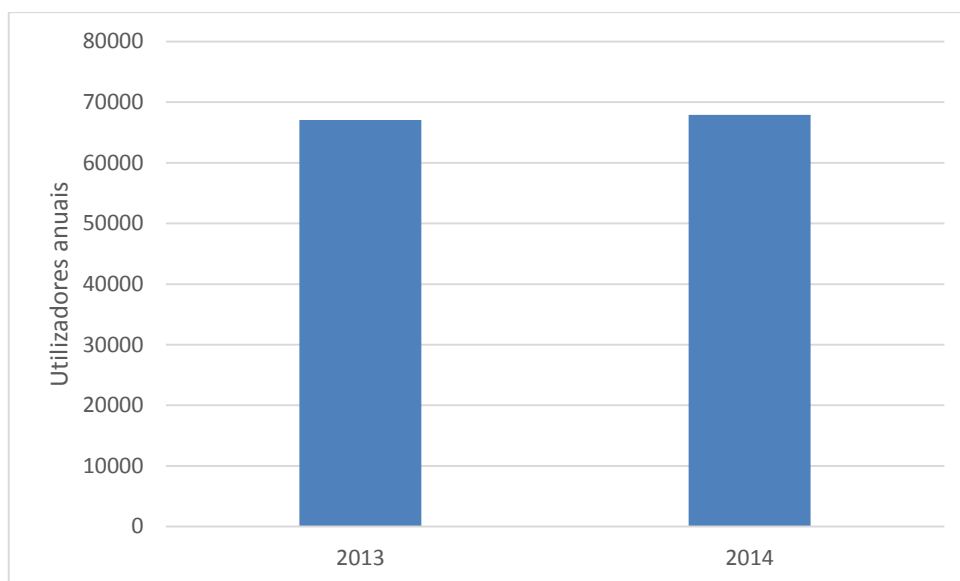


Figura 3.2. Evolução do número anual de utilizadores entre 2013 e 2014.

A diretiva CNQ 23/93 determina a lotação máxima instantânea de 1 banhista por cada 2 m² do plano de água. Por outro lado, a lotação máxima diária não deverá ser superior a 4 vezes a lotação máxima instantânea. O regulamento de funcionamento da PMLLC refere que a utilização diária das piscinas não pode exceder 834 utentes para a piscina de 25 metros e os 267 utentes para o tanque de aprendizagem, valores bastante superiores à média diária registada entre os anos de 2013 e 2014 (186 utilizadores por dia).

A Figura 3.3 mostra a variação mensal do número de utilizadores nos anos de 2013 e 2014.

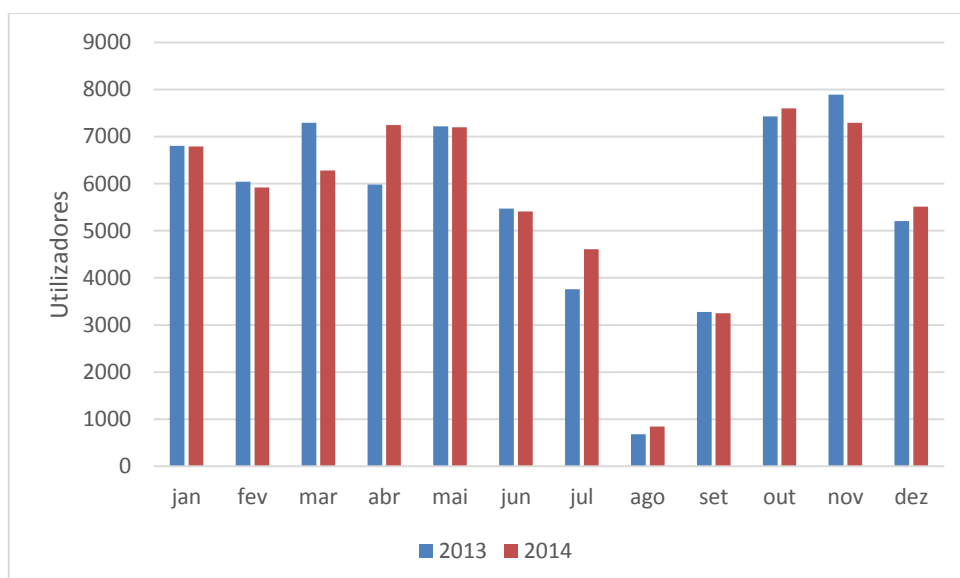


Figura 3.3. Evolução do número mensal de utilizadores entre 2013 e 2014.

Fazendo uma análise à Figura 3.3 nota-se, claramente, que a frequência dos utilizadores na PMLLC é semelhante para os meses homólogos nos dois anos expostos. Em agosto verifica-se que o número de utilizadores é reduzido em comparação com os outros meses, pois em cerca de meio mês o complexo é encerrado para ações de manutenção de equipamentos e da piscina. Nesta altura é efetuada uma renovação a 100 % da água da piscina, fazendo-se assim uma limpeza total da sua água e paredes.

3.4. Consumos

3.4.1. Consumos elétricos

As faturas de eletricidade apenas estavam disponíveis para consulta a partir de abril de 2013. A obtenção de faturas anteriores a essa data envolvia um processo complexo e moroso por parte da CMC.

O objetivo passa por utilizar o ano de 2014 como ano de referência para comparação com as outras faturas do complexo, pois este é o único ano com as faturas de eletricidade de todos os meses. Para isso será indispensável verificar se o ano de 2014 foi um ano típico. Essa verificação irá ser feita pela comparação dos meses de 2014 com alguns disponíveis de 2013 e alguns de 2015.

A Figura 3.4 e a Figura 3.5 permitem analisar em termos elétricos os dois anos, entre abril de 2013 e março de 2015, anualmente e mensalmente, respetivamente.

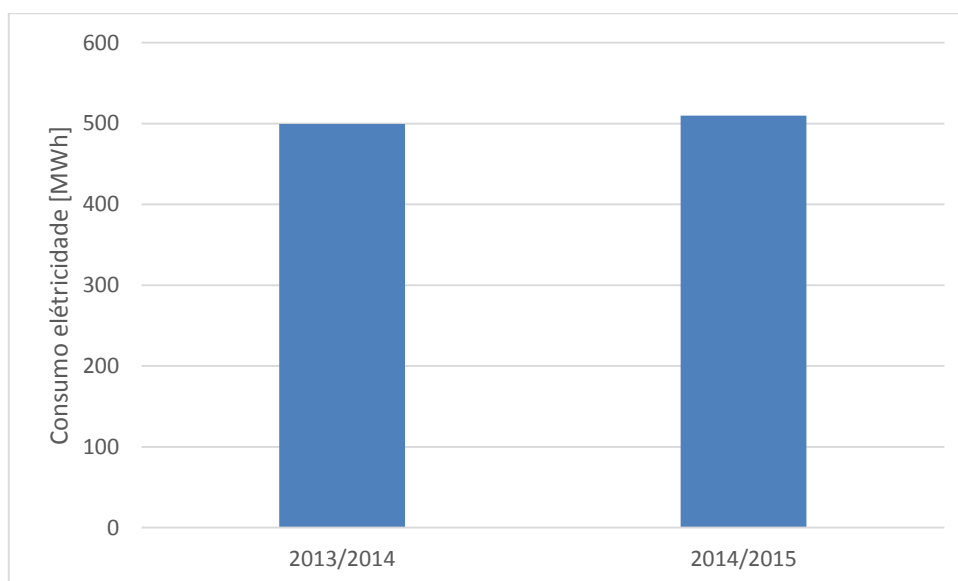


Figura 3.4. Evolução do consumo anual de eletricidade entre abril 2013 e março 2014, e abril 2014 e março 2015.

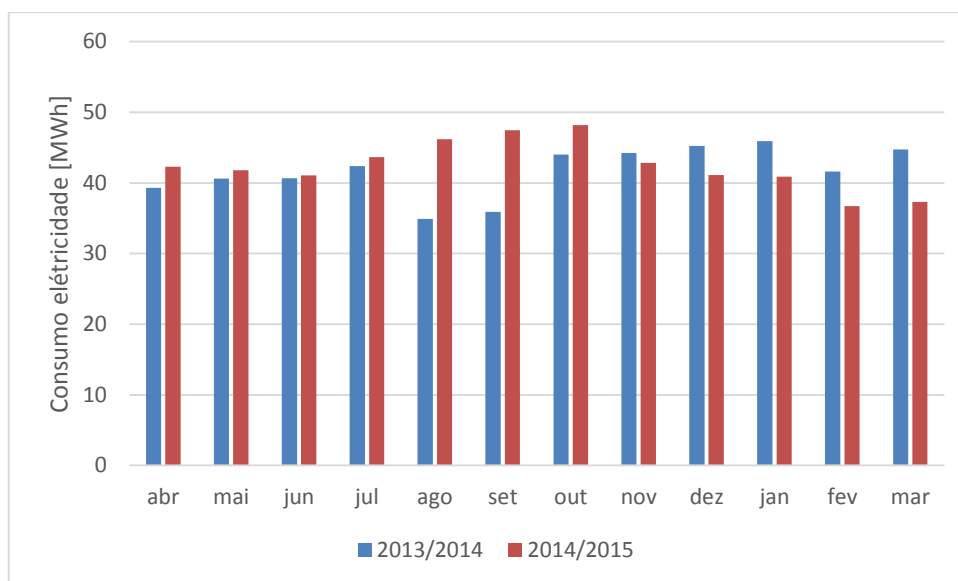


Figura 3.5. Evolução do consumo mensal de eletricidade entre abril 2013 e março 2014, e abril 2014 e março 2015.

A Figura 3.4 permite concluir que o consumo de energia elétrica em termos globais foi idêntico para os dois períodos analisados, sendo ligeiramente superior no segundo período (2014/2015). Por outro lado, a Figura 3.5 permite apurar que em certos meses o ano de referência 2013/2014 sobrepõe-se ao de 2014/2015, mas noutros verifica-se a situação oposta. Estas diferenças podem ser explicadas por acertos e estimativas de contagem.

Esta decomposição anterior, com períodos diferentes dos habitualmente utilizados (abril-março ao invés de janeiro-dezembro), foi apenas para verificar a existência de discrepâncias nos consumos para diferentes anos. A conclusão obtida foi que se pode considerar o ano de 2014 como referência, dada a aleatoriedade da tendência dos resultados, mas conducentes a valores com poucos desvios médios no longo prazo.

A Figura 3.6 apresenta os resultados obtidos para o consumo de eletricidade no ano de 2014. Observa-se em 2014 o mesmo género de distribuição obtido na Figura 3.5. O consumo de total de energia elétrica em 2014 foi de 526894 kWh.

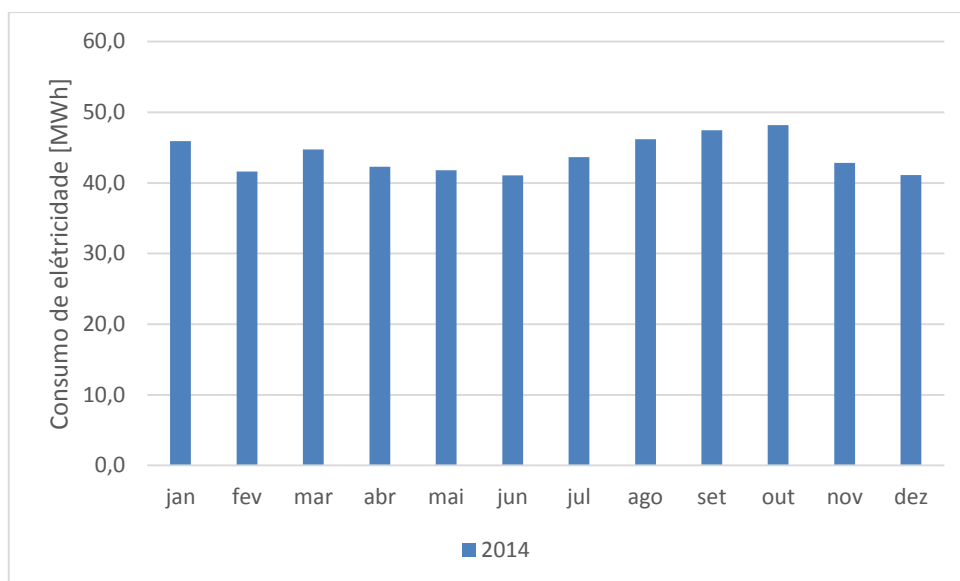


Figura 3.6. Evolução do consumo mensal de eletricidade no ano 2014.

3.4.2. Consumos de gás natural

Relativamente ao gás natural (GN) são disponibilizados os dados referentes a 2013 e 2014, mas neste caso não houve possibilidade de aceder às faturas, apenas a um ficheiro de Microsoft Excel com o consumo de GN em m³, em kWh e o valor total da fatura.

Outrora, o consumo de gás natural era faturado em unidade de volume (m³), porém, para dar cumprimento às diretrizes europeias, passou a ser faturado em unidade de energia (kWh). A conversão feita pela Galp é baseada num fator de correção que converte o consumo de energia para condições de temperatura e de pressão diferentes das normais. A metodologia usada é a seguinte, com base na informação recolhida em Galp Energia (2010).

$$\text{Fator de Correção (m}^3 \text{ para kWh)} = PCS \times Fct \times Fcp \quad (3.1)$$

$$Fct = \frac{273,15}{273,15 + T_{\text{gás}}} \quad (3.2)$$

$$Fcp = \frac{Pr + 1013,25}{1013,25} \quad (3.3)$$

Onde:

PCS – Poder calorífico superior do gás natural [kWh/m³(n)]. Valor que corresponde à média aritmética dos valores de PCS mensal. Por seu lado, os valores de PCS mensal são obtidos a partir da média aritmética dos valores de PCS diário;

Fct – Fator de correção por temperatura;

Tgás – Temperatura média da zona onde se situa a instalação [°C];

Pr – Pressão relativa de fornecimento [mbar].

Como não foi possível o acesso às faturas, os fatores de conversão aplicados são desconhecidos. Desta forma, para a conversão do consumo de GN expresso em m³ para kWh, recorreu-se ao despacho n.º 17313/2008 que quantifica o seu PCI (45,1 MJ/kg) e o seu peso específico (0,8404 kg/m³N).

A evolução do consumo anual de GN está representada na Figura 3.7 e, mensalmente, na Figura 3.8.

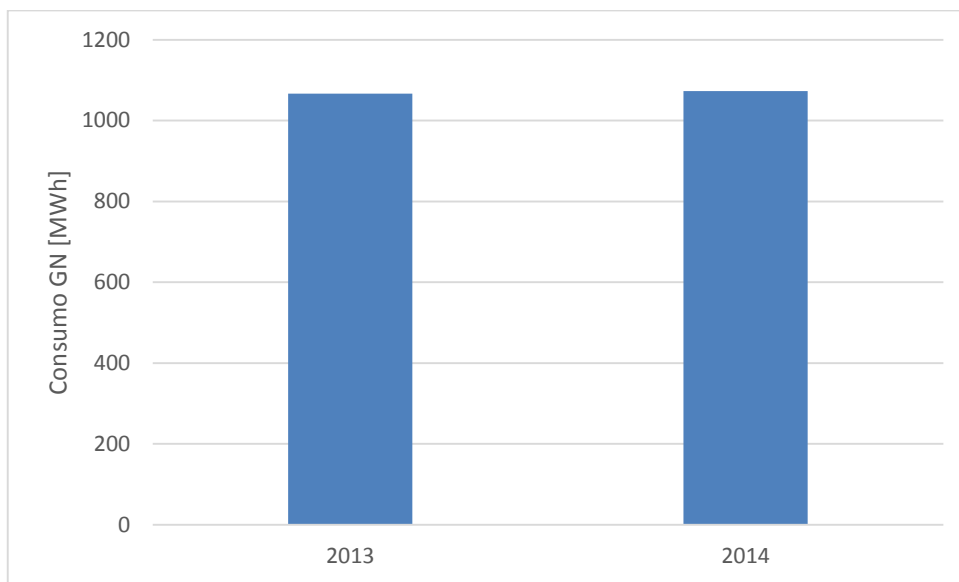


Figura 3.7. Evolução do consumo anual de GN entre 2013 e 2014.

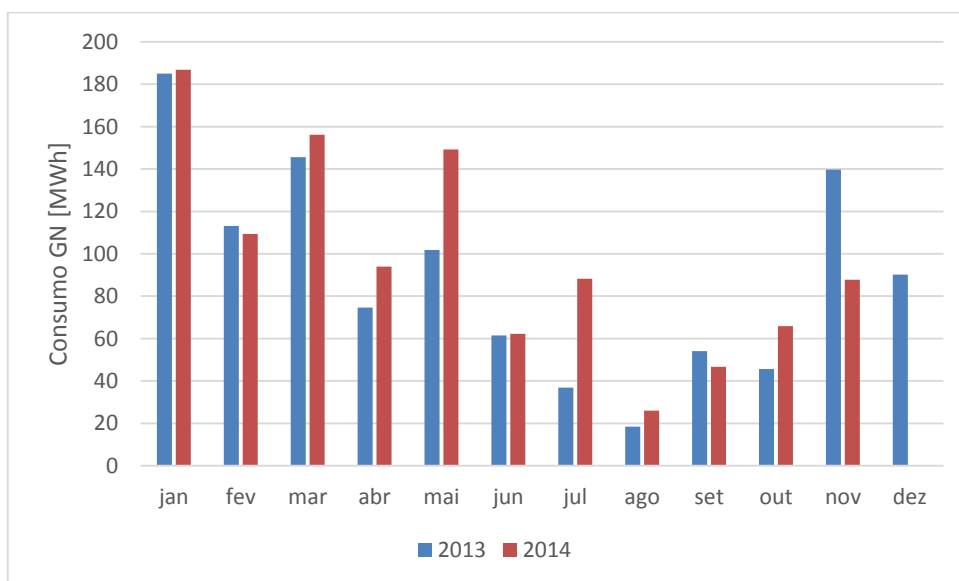


Figura 3.8. Evolução do consumo mensal de GN entre 2013 e 2014.

É de notar que o consumo de GN foi praticamente constante em termos globais nos dois anos em questão (Figura 3.7), apesar de ser ligeiramente superior em 2014. A distribuição mensal apresenta uma curva com alguma semelhança para os respetivos meses de 2013 e 2014, com uma singularidade ocorrida no mês de dezembro de 2014, em que o consumo faturado é consideravelmente menor do que nos meses remanescentes. A justificação mais plausível para este desequilíbrio será a ocorrência de acertos nas leituras, pois naquela altura do ano, segundo as informações dos funcionários da PMLLC, não se deu qualquer tipo de anomalia nos equipamentos nem houve interrupção no funcionamento normal do complexo.

Os consumos de gás relativos à PMLLC são também registados manualmente todos os dias, contudo, a análise desses dados é mais complexa pois são consumos apenas em unidade de volume (m^3) e não contemplam os respetivos custos nem os fatores de conversão. Porém, para clarificar os consumos de GN relativos a dezembro de 2014, foram analisados os registos diários efetuados pelos funcionários da PMLLC no decorrer do ano 2014. O resultado dessa análise pode ser visualizado na Figura 3.9.

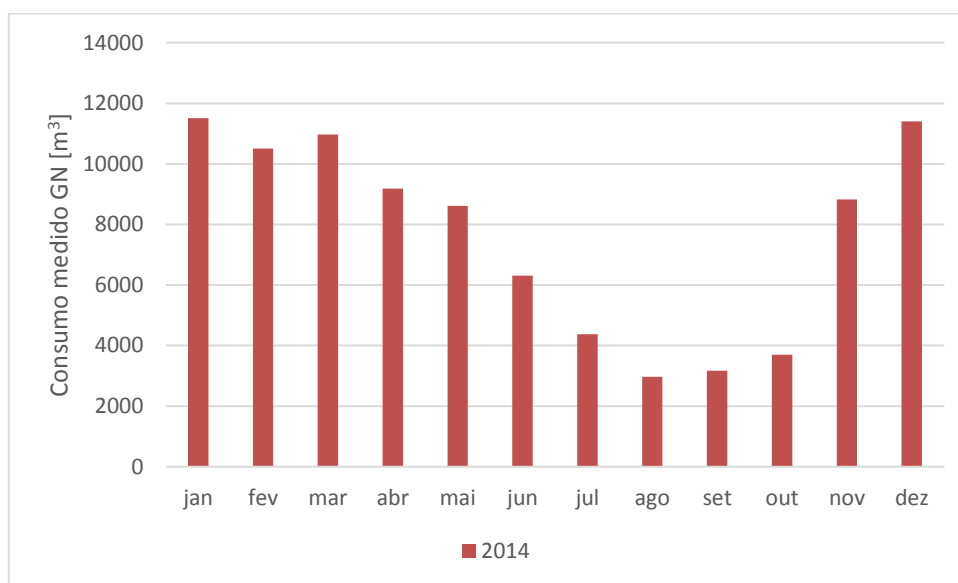


Figura 3.9. Consumo registado de GN em 2014.

Como se pode visualizar na Figura 3.9, o reduzido consumo de GN presente na fatura de dezembro de 2014 terá sido efetivamente resultado de acertos de contagens. Dezembro é, como a figura acima mostra, um dos meses que apresenta um maior consumo de GN.

O valor total de GN consumido em 2014 recorrendo aos registos é cerca de 10% inferior ao faturado nesse ano. Dez pontos percentuais no consumo anual do complexo representa uma quantidade significativa de energia, pelo que seria mais desejável comunicar as leituras com maior frequência. Contudo, segundo informações dos técnicos da CMC a partir de março de 2015 a leitura de GN passou a ser comunicada por telecontagem.

Analisando os consumos de eletricidade e de gás natural nos períodos de 2013 e de 2014 notou-se, apesar de não muito significativo, um maior consumo no ano de 2014. Uma das razões para esta ligeira diferença poderá estar ligada à meteorologia.

Para clarificar este facto, recorreu-se aos dados climáticos disponibilizados por WU Weather Undergroud (2015) em formato Microsoft Excel. O tratamento dos respetivos dados diários permitiu calcular, para a freguesia de Ceira (em Coimbra), a temperatura média para os dois anos em discussão. Obteve-se para 2013 uma temperatura média do ar de 18,0 °C e para 2014 de 17,3 °C. Apura-se assim que o ano de 2014 foi um ano com temperatura média mais baixa, que por sua vez terá conduzido a maiores necessidades de aquecimento e estas terão provocado um maior consumo de energia.

3.4.3. Consumos de água

O consumo de água na PMLLC é feito essencialmente recorrendo à rede de água pública, contudo, foi feito recentemente um furo para captação de água subterrânea. A água obtida à custa do furo não possui requisitos de qualidade para poder ser usada nas atividades da PMLLC, todavia, é usada para a rega da relva do jardim do complexo.

A diretiva CNQ 23/93 menciona que deverá ser assegurada uma renovação diária de água potável, na mínima proporção de 30 litros por dia e por cada utilizador que tenha frequentado o complexo. A renovação diária não deverá ser inferior a 2 % do volume do tanque (caso os resultados das análises à água revelem falta de qualidade, este valor pode ser aumentado, por imposição das autoridades sanitárias).

O consumo global e mensal de água da rede efetuado nos últimos três anos está exposto na Figura 3.10 e Figura 3.11, respetivamente, onde é notório que em 2012 houve um consumo consideravelmente maior do que nos dois anos seguintes.

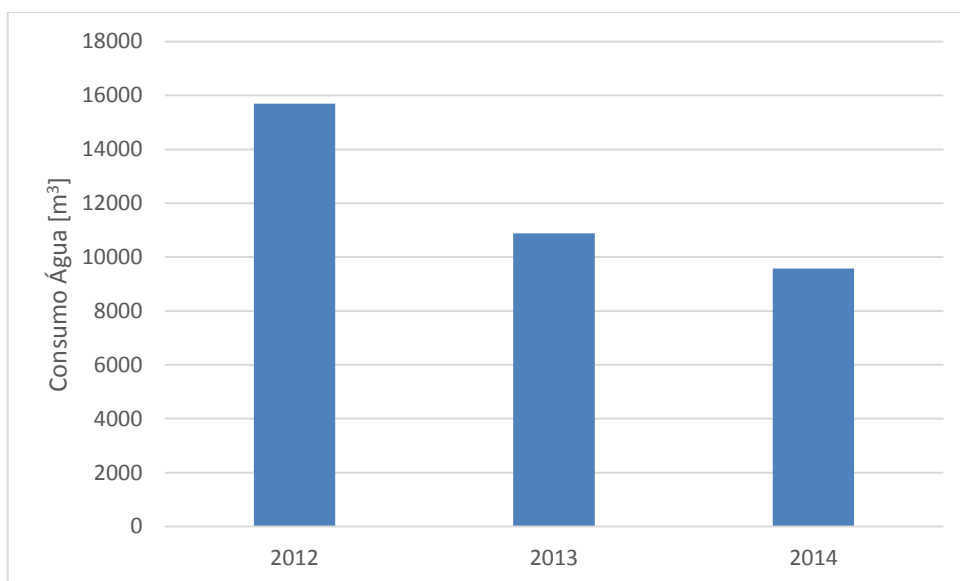


Figura 3.10. Evolução do consumo anual de água entre 2012 e 2014.

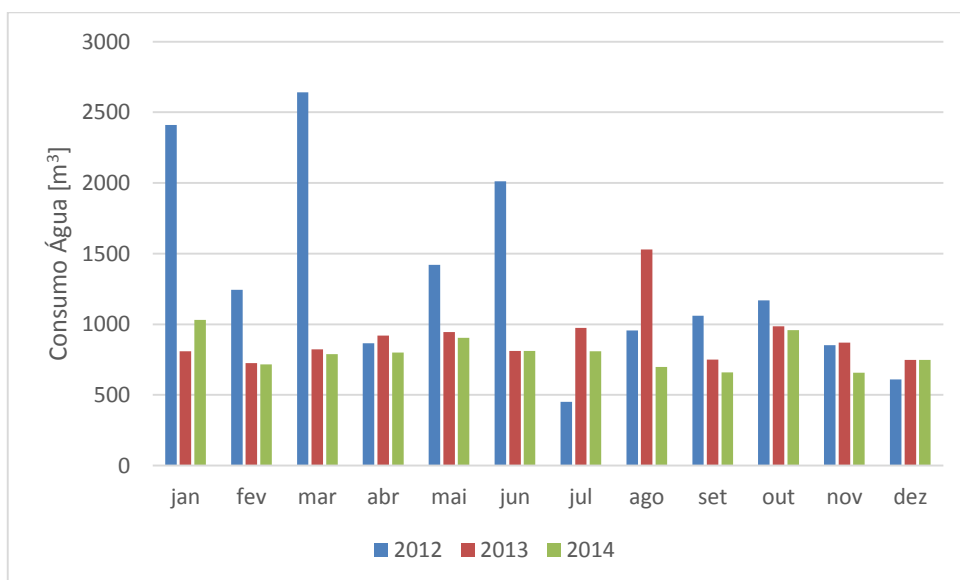


Figura 3.11. Evolução do consumo mensal de água entre 2012 e 2014.

À exceção do primeiro semestre de 2012, os meses dos três diferentes anos têm uma distribuição muito semelhante. Na primeira metade do ano 2012 verifica-se um consumo atípico, bastante mais alto do que o normal. Esta situação no início do ano podia ser explicada por acertos de leituras, mas o seu comportamento anómalo manteve-se até julho, altura em que se procedeu à troca do contador da água. A partir daí, os resultados tornaram-se mais estáveis e mais baixos, podendo-se atribuir o elevado consumo de água a erros de medição do contador.

3.5. Análise comparativa dos consumos de água e de energia térmica e elétrica

A comparação dos consumos de GN e de eletricidade irá ser feita apenas atendendo ao ano de 2014, pelo facto de se possuir apenas para esse ano todas as faturas de eletricidade, tal como explicado no capítulo 3.4.1 Consumos .

Os dados relativos aos consumos e custos mensais de GN e de eletricidade relativos ao ano de 2014 estão apresentados na Tabela 3.2. Na Figura 3.12 é feita uma comparação percentual entre os consumos e custos totais de GN e de eletricidade relativos ao ano de 2014.

Tabela 3.2. Comparação dos consumos e custos mensais de eletricidade e GN relativamente a 2014.

2014	Consumo [MWh]		Custo [€] ²	
	Eletricidade	Gás natural	Eletricidade	Gás natural
Total	526,9	1072,5	88030	82898

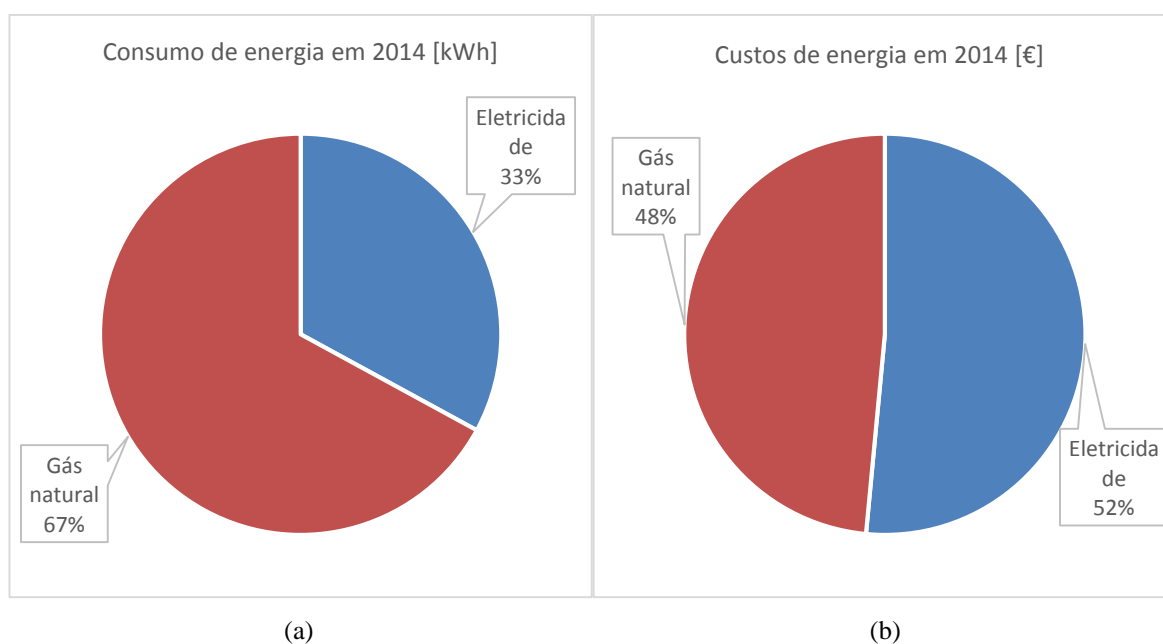


Figura 3.12. Comparação do consumo (a) e custos (b) totais de eletricidade e GN relativamente a 2014.

A Figura 3.12 é interessante pois permite apurar que, no ano de 2014, o consumo de GN representou 67 % da energia total consumida pelo complexo. No entanto, o custo

² O valor inclui a totalidade dos custos reportados nas faturas.

associado ao consumo do GN apenas representa 48 % do valor gasto em energia na PMLLC. Pode-se assim confirmar que o custo específico de energia elétrica é superior ao do GN.

Na Tabela 3.3 está apresentado o custo específico de eletricidade e GN relativamente ao ano de 2014.

Tabela 3.3. Custo específico de eletricidade e GN relativamente a 2014.

2014	Custo [€/kWh] ³	
	Eletricidade	Gás natural
jan	0,171	0,076
fev	0,171	0,076
mar	0,170	0,075
abr	0,169	0,076
mai	0,169	0,075
jun	0,169	0,078
jul	0,169	0,079
ago	0,170	0,074
set	0,158	0,083
out	0,161	0,083
nov	0,164	0,082
dez	0,166	1,266
Média	0,167	0,077

A Tabela 3.3 vem confirmar a afirmação feita anteriormente: o custo específico de eletricidade é bastante superior ao de GN. A média obtida para o custo específico de GN foi de 0,077 €/kWh. O consumo específico de GN no mês de dezembro é consideravelmente superior ao dos restantes meses, devido ao consumo relativamente residual nesse mês. Esse custo específico acima do normal poderá ser explicado pela inclusão de juros de mora no pagamento, que quando divididos por um valor residual de consumo, resulta num consumo específico elevado.

É importante perceber de que forma varia o consumo de energia e de água com o número de utentes da PMLLC. Por isso, na Figura 3.13 e na Figura 3.14, pode-se comparar o consumo específico de energia (eletricidade e GN) e de água, respetivamente.

³ O valor inclui a totalidade dos custos reportados na fatura.

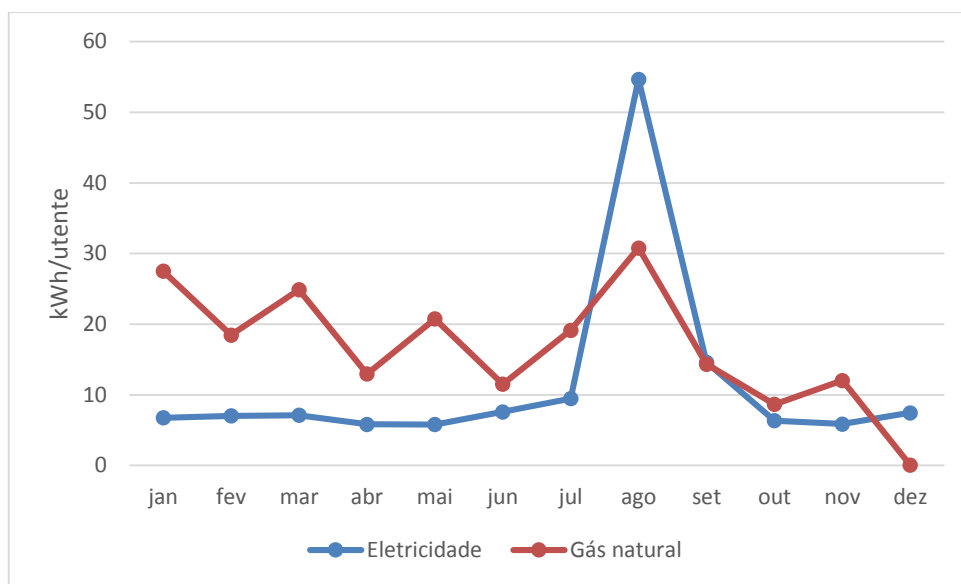


Figura 3.13. Comparação do consumo específico de energia por utente relativamente a 2014.

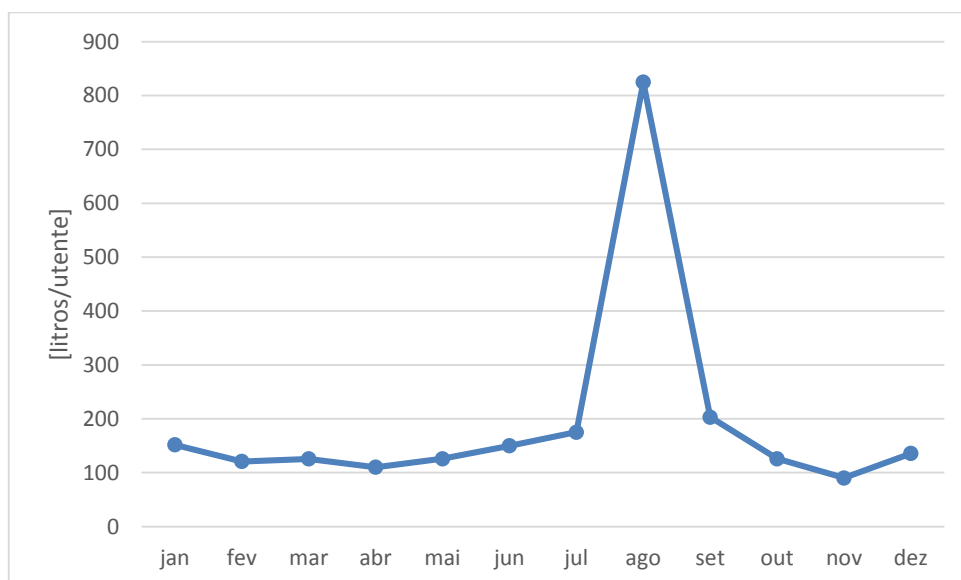


Figura 3.14. Consumo específico de água por utente relativamente a 2014.

A análise da Figura 3.12 permite concluir que, em termos globais, o consumo energético de GN é superior ao de eletricidade (67% e 33%, respetivamente), daí ser expectável, na Figura 3.13, que o consumo específico de GN seja por norma superior ao de eletricidade. No entanto, em dezembro isso não se verifica, devido ao consumo reduzido registado na fatura desse mês. Quanto ao mês de agosto, dá-se um pico tanto no consumo específico de energia como no de água, os quais se devem à diminuição do número de utentes da PMLLC. Esta redução do número de utentes é devida à paragem do complexo durante 15 dias do mês de agosto para manutenção e limpeza, nos quais o complexo encerra ao público.

3.6. Indicadores energéticos e comparação com as referências bibliográficas

Um dos pontos-chave deste trabalho é a procura de indicadores que possam ser comparados com os apresentados para outros complexos com piscinas interiores.

Como o clima varia bastante de acordo com a localização geográfica, foi necessário obter algum dado que torne possível descrever o clima na estação de aquecimento, de modo a permitir estabelecer comparações com os resultados obtidos noutros complexos com piscinas interiores. De acordo com o Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de abril, os Graus-dias de aquecimento (GD) correspondem a um número que caracteriza a severidade de um clima ao longo da estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. Estas diferenças de temperatura são obtidas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

A Tabela 3.4 resume os indicadores encontrados ao longo deste trabalho, juntamente com o respetivo número de GD na base de 18 °C para a localização em questão. Na coluna “Tipo de indicador” a sigla “AC” significa que o indicador é baseado na área coberta do complexo, por outro lado, quando a sigla é “AP” simboliza que o indicador sustentado pela área de superfície do plano de água da piscina.

Os dados relativos aos GD que são apresentados de seguida foram recolhidos de BizEE (2015).

Para efeitos comparativos, Coimbra (Cernache) apresenta, baseado nos últimos cinco anos, 1521 graus-dias de aquecimento na base de 18°C. A localização geográfica é um fator que influencia bastante o consumo energético das piscinas pois as condições meteorológicas dependem bastante deste parâmetro.

Tabela 3.4. Principais indicadores energéticos encontrados na bibliografia.

Autor	Local	Tipo de indicador	Consumo energético	GD na base de 18°C
Trianti-Stourna <i>et al.</i> (1998)	Climas continentais	Consumo AC [kWh/m ²]	600 - 6000	-
IECU (1994, <i>cit in</i> Trianti-Stourna <i>et al.</i> , 1998)	Climas continentais	Consumo AP [kWh/m ²]	5200	-
IECU (1994, <i>cit in</i> Trianti-Stourna <i>et al.</i> , 1998)	Climas mediterrâneos	Consumo AP [kWh/m ²]	4300	-
Oliver-Solà <i>et al.</i> (2013)	Barcelona	Consumo AC [kWh/m ²]	666,1	1201
Trianti-Stourna <i>et al.</i> (1998)	Grécia	Consumo AC [kWh/m ²]	450,1	1136
Trianti-Stourna <i>et al.</i> (1998)	Grécia	Consumo AP [kWh/m ²]	1094,5	1136
Saari & Sekki (2008)	Finlândia	Consumo AC [kWh/m ²]	636	4583
Saari & Sekki (2008)	Finlândia	Consumo AP [kWh/m ²]	4475	4583
Kampel, Aas, & Bruland (2014)	Noruega	FAEC [kWh/(m ² .h)]	0,47 – 2,93	4786

Para o cálculo dos indicadores da PMLLC será necessária a área de superfície do plano de água. Para tal, foi somada a área correspondente à piscina de 25 metros e ao tanque de aprendizagem. A superfície total do plano de água é de 575,15 m². A área coberta do edifício foi obtida recorrendo à planta fornecida pelos funcionários da CMC em AutoCad tendo-se determinado um valor de 2160,98 m².

A Tabela 3.5 resume os principais indicadores energéticos da PMLLC.

Tabela 3.5. Principais indicadores energéticos relativos à PMLLC.

		Por A. piscina [m ²]	Por A. coberta [m ²]	Por utente
Eletricidade 2014 [kWh]	526894,45	914,51	243,82	7,76
GN 2014 [kWh]	1072532,98	1861,55	496,32	15,79
Total energia 2014 [kWh]	1599427,43	2776,06	740,14	23,54
Água 2014 [m³]	9579,00	16,63	4,43	0,14

Nota: As unidades de medida deverão ser vistas primeiro analisando as linhas e depois as colunas da tabela.

Pelo que se observa na Tabela 3.5, a PMLLC tem um consumo de energia específico global de 2776,06 kWh/m² de superfície de piscina e de 740,14 kWh/m² de área coberta. São indicadores bastante equilibrados em comparação com os obtidos noutras piscinas, mas é necessário ter em atenção as condições climatéricas mais favoráveis ocorridas em Portugal.

Portugal é um dos países na Europa onde os custos de GN e de eletricidade são mais elevados, por isso, quando se fazem comparações de custos de energia para diferentes países é necessário ter esse aspeto em atenção. A Tabela 3.6 mostra os custos específicos de energia e de água alusivos ao ano de 2014.

Tabela 3.6. Principais indicadores de custo energético relativos à PMLLC.

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

Nota: As unidades de medida deverão ser vistas primeiro analisando as linhas e depois as colunas da tabela.

Pode-se observar que o custo específico de energia e de água nesse ano foi de 2,88 €/utente, o que poderá significar que os preços cobrados pela entrada são baixos face aos custos do complexo (que não incorporam gastos de mão de obra dos funcionários, manutenções nem produtos químicos).

Quanto ao FAEC, sugerido por Kampel, Aas, & Bruland (2014), o valor obtido para este indicador para a PMLLC foi de 0,66 kWh/(m².h). Apesar de este indicador estar bem cotado relativamente à respetiva informação presente na Tabela 3.4, existem piscinas na Noruega com melhor eficiência (apesar do clima mais desfavorável). Um ponto que importa frisar é o critério na contagem de horas em que os complexos estão abertos, parâmetro que influencia bastante o valor deste indicador.

4. ANÁLISE ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO

Para uma melhor compreensão do funcionamento da instalação e para tornar mais fácil a sua análise optou-se por fazer um esquema que descreva sucintamente o seu princípio de funcionamento. Esse esquema está representado na Figura 4.1.

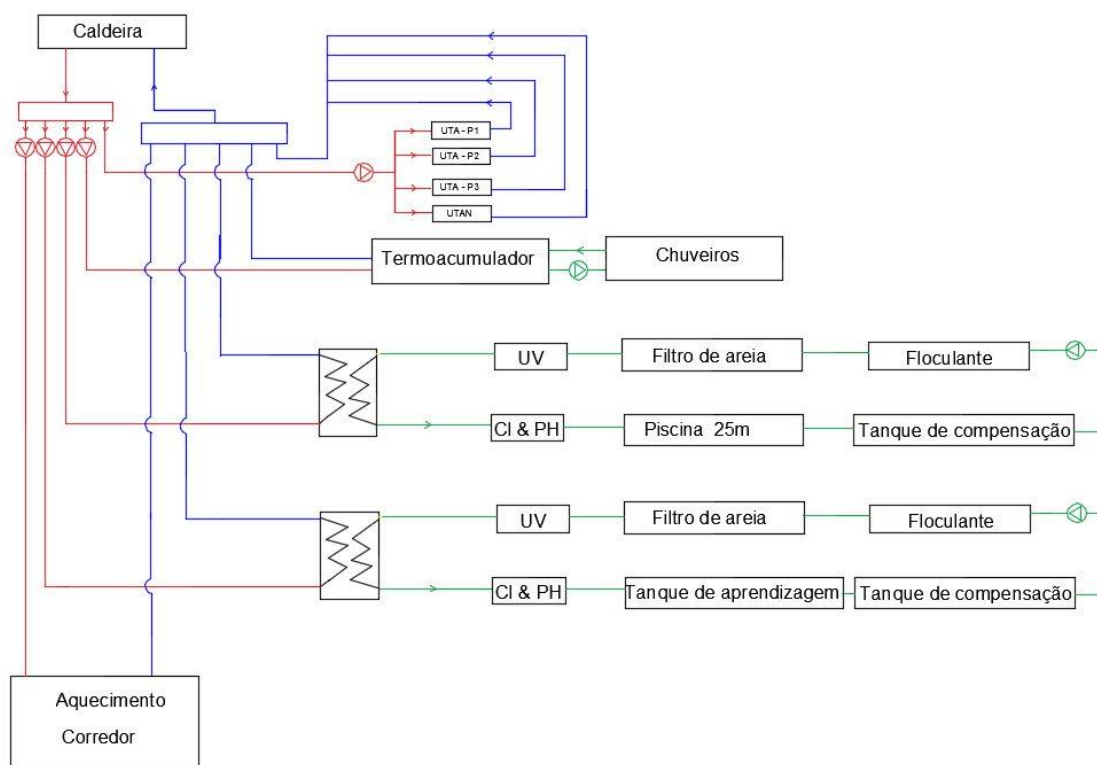


Figura 4.1. Esquema de princípio da instalação.

A energia térmica do edifício é toda ela fornecida por duas caldeiras a gás natural. Na zona técnica das caldeiras existe um coletor de retorno (a azul no esquema) e outro de avanço (a vermelho), que distribuem através do circuito primário a energia térmica para o aquecimento do corredor, para as duas piscinas, para os termoacumuladores e para as unidades de tratamento de ar. A troca de calor entre o circuito primário e o circuito das piscinas (a verde) dá-se através de um permutador de calor de placas. Relativamente à AQS, o circuito primário aquece a água dos termoacumuladores. Esta, por sua vez, durante as horas de funcionamento do complexo circula através de um circuito secundário (a verde), entre os termoacumuladores e os balneários. Este circuito secundário tem como objetivo garantir água quente simultaneamente em cada local de consumo.

4.1. Energia elétrica

Para a realização da análise elétrica da instalação considerou-se, inicialmente, que todos os equipamentos funcionam a tempo inteiro (24h por dia durante todo o ano). Primeiramente, o objetivo será determinar a que percentagem da sua carga nominal estão a funcionar os principais equipamentos da PMLLC presentes na Tabela 4.1, para posteriormente tentar ajustar o seu tempo de funcionamento de acordo com os valores de eletricidade faturados.

Admitindo que estes equipamentos trabalham 24 horas por dia durante todos os dias do ano, implicam um consumo total de energia elétrica de 791492,28 kWh por ano. Tendo como base o consumo de eletricidade relativo ao ano de 2014 (526894,45 kWh), pode-se afirmar que, no global, todos os equipamentos elétricos da instalação funcionaram a 66,57 % da sua carga nominal ou, por outro lado, trabalharam à carga nominal, mas em 66,57 % do tempo total.

A segunda análise passará por tentar estimar o tempo real de funcionamento para que, com os aparelhos a funcionar à carga nominal, tenham os consumos semelhantes ao faturado em 2014. As percentagens do tempo de funcionamento dos aparelhos foram, por norma, ajustadas de acordo com informações cedidas pelos funcionários da PMLLC.

Na Tabela 4.1 estão representados os equipamentos elétricos com as respetivas percentagens de funcionamento estimadas.

Tabela 4.1. Potência elétrica dos equipamentos ajustada com o tempo de funcionamento.

Quantidade	Equipamento	Potência elétrica [kW]	Tempo [%]	Tempo de funcionamento [h]
1	UTA-P1	15,60	70	6132
1	UTA-P2	15,60	70	6132
1	UTA-P3	15,60	70	6132
1	UTAN	1,10	70	6132
1	VEX - 1	0,10	100	8760
1	VEX - IS2	0,10	100	8760
6	Bombas circuladoras circuitos	5,10	75	6570
6	Bombas circuladoras AQS	1,68	60	5256
2	Bombas circuladoras AVAC	1,10	75	6570
1	Bomba circuladora corredor	0,05	75	6570
3	Bomba circuladora P25	12,00	75	6570
2	Bomba circuladora TA	5,80	75	6570
1	Ar condicionado 1	0,81	30	2628
1	Ar condicionado 2	4,52	30	2628
16	Iluminação nave 250W	4,00	50	4380
18	Iluminação nave 400W	7,20	50	4380
Total				94170

VEX – Ventilador de extração das instalações sanitárias.

Admitindo que os equipamentos elétricos trabalham durante todos os dias do ano, na potência nominal, mas com as percentagens de tempo de funcionamento e respetivas horas indicadas na Tabela 4.1, a energia total consumida ao fim de um ano será de 525338,51 kWh. Desta forma, esta é uma combinação muito provável dos tempos de funcionamento dos equipamentos, pois a estimativa conduz a valores de energia consumida muito próximos dos faturados em 2014.

4.2. Energia térmica

Relativamente à energia térmica, obtida a partir do GN, é mais complicado efetuar uma estimativa da repartição e perfil de consumo de energia. Não é fácil perceber a que carga os equipamentos estão a funcionar e o seu arbítrio não é tão previsível quanto o dos equipamentos elétricos. Inclusivamente, alguns equipamentos têm funcionamentos dependentes de acontecimentos que são de previsão muito difícil (p.e. estado do tempo, estação do ano ou número de utilizadores da piscina). Contudo, são apresentadas na Tabela 4.2 as potências térmicas dos equipamentos da PMLLC.

Tabela 4.2. Potência térmica dos equipamentos.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência térmica [kW]
Caldeira	ROCA	CPA 500	581,4
UTA -P1	CIATESA	BCP-230	105
UTA -P2	CIATESA	BCP-230	105
UTA -P3	CIATESA	BCP-230	105
UTAN	CIAT	AIRTOP 25	12,3
Permutador P25	ARSOPI	FHL00-HJ-16	216
Permutador TA	ARSOPI	5736TH	37,2
3 Termoacumuladores AQS	SiCC	209/NSX	Sem informação

4.2.1. Energia necessária para preparação de AQS

Na estimativa da energia usada para aquecimento de AQS foram usadas duas metodologias diferentes.

A primeira transmite que a energia útil gasta para o aquecimento de água quente sanitária pode ser obtida, em kJ, pela equação seguinte:

$$Q_{AQS} = m \times c_p \times \Delta T \quad (4.1)$$

A massa de água, em kg, é obtida da seguinte forma:

$$m = \rho \times V \quad (4.2)$$

O calor específico da água a pressão constante, c_p , para a temperatura de 60 °C é de 4,18 kJ/kg.K e a sua massa volúmica, ρ , é de 983,2 kg/m³. O ΔT reflete a diferença de temperaturas entre a água armazenada e a água injetada da rede.

O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril informa que o consumo de referência de água quente sanitária a 60 °C é de 40 litros por dia por pessoa. Este valor pressupõe que o utilizador é doméstico e está muito tempo em casa. Na presente situação trata-se de um utilizador de serviços públicos, contudo, poderá não ter muita preocupação com o gasto de água. Para efeito de cálculo, admitindo o valor deste decreto como referência e sabendo os dados relativos aos utilizadores da PMLLC é possível estimar o volume de AQS consumida.

Na Tabela 4.3 pode-se observar os resultados da estimativa efetuada para o ano de 2014. Os parâmetros utilizados para a conversão dos valores estão na Tabela 4.4.

Tabela 4.3. Estimativa de energia térmica para AQS relativo a 2014.

2014	Utentes	AQS [L]	AQS [m ³]	AQS [kg]	Energia [MJ]	Energia [kWh]
jan	6791	271640	271,64	267076,45	50237,08	13954,74
fev	5918	236720	236,72	232743,10	43778,98	12160,83
mar	6277	251080	251,08	246861,86	46434,72	12898,53
abr	7245	289800	289,80	284931,36	53595,59	14887,66
mai	7193	287720	287,72	282886,30	53210,91	14780,81
jun	5406	216240	216,24	212607,17	39991,41	11108,72
jul	4609	184360	184,36	181262,75	34095,52	9470,98
ago	845	33800	33,80	33232,16	6250,97	1736,38
set	3248	129920	129,92	127737,34	24027,39	6674,28
out	7600	304000	304,00	298892,80	56221,74	15617,15
nov	7289	291560	291,56	286661,79	53921,08	14978,08
dez	5512	220480	220,48	216775,94	40775,55	11326,54
Total	67933	2717320	2717,32	2671669,02	502540,94	139594,71

Tabela 4.4. Parâmetros utilizados no cálculo da estimativa de energia para AQS.

Consumo a 60°C [litros/banho]	40
Massa volúmica água a 60°C [kg/m ³]	983,2
c_p [kJ/kg.K]	4,18
ΔT [°C]	45

Para o cálculo desta estimativa considerou-se a temperatura da água injetada da rede de 15 °C e a temperatura da água armazenada de 60 °C.

Para uma melhor perceção da informação anterior, recorre-se à análise do gráfico da Figura 4.2 respeitante à evolução do consumo de AQS:

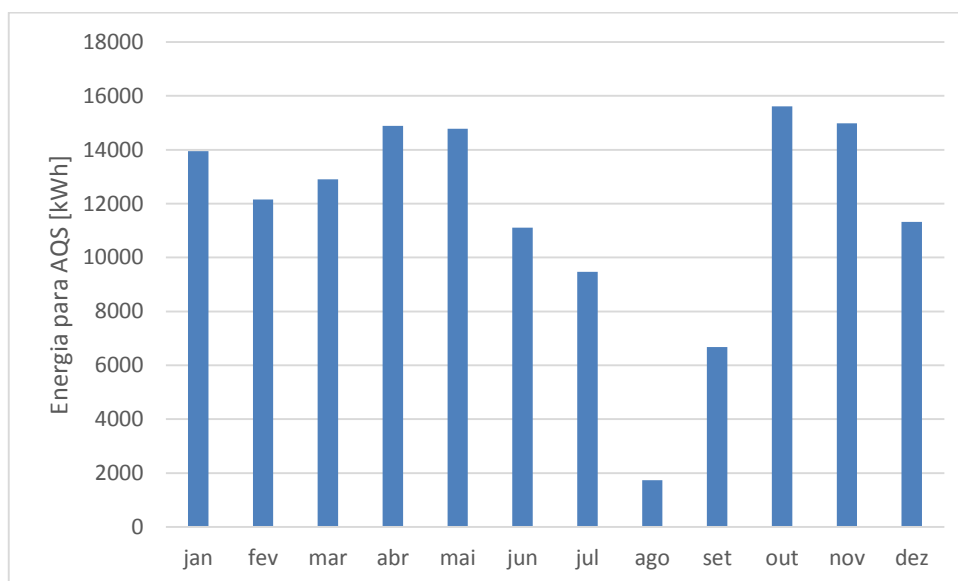


Figura 4.2. Representação da estimativa de energia térmica para AQS relativo a 2014.

Como era espectável, o perfil da curva de energia térmica para AQS é muito semelhante à dos utentes da PMLLC no ano de 2014, pois esta estimativa depende de forma acentuada do número de utilizadores.

A outra metodologia que foi usada para comparação é a exposta no Despacho (extrato) n.º 15793-I-2013. Segundo este, a energia útil que é necessária para a preparação de AQS, em kWh/ano, é fornecida pela seguinte equação:

$$Q_a = (M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d) / 3600 \quad (4.3)$$

O ΔT reflete novamente a diferença de temperaturas entre a água armazenada e a água injetada da rede. O n_d representa o número anual de dias em que há consumo de AQS, que toma o valor de 298 dias, obtido a partir da subtração aos 365 dias do ano, de 52 domingos relativos ao ano de 2014 e de 15 dias de paragem para manutenção do complexo.

O consumo médio diário de referência, M_{AQS} , é expresso em litros por dia e calculado do seguinte modo:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad (4.4)$$

Onde n é o número convencional de ocupantes em edifícios residenciais, mas adaptado a este caso, reflete o número médio de utilizadores por dia de funcionamento do

PMLLC. Este parâmetro toma o valor de 228 utilizadores por dia e foi obtido pela divisão do número total de utentes no ano de 2014 pelo número de dias de funcionamento anuais do complexo. Por fim, o fator f_{eh} é um parâmetro que depende do tipo de chuveiro, de acordo com a sua eficiência hídrica. Nos casos em que os chuveiros têm rótulo A ou superior, f_{eh} toma o valor 0,9, nos restantes casos toma o valor unitário. No presente caso considerou-se f_{eh} igual à unidade.

Para este método o consumo médio diário de referência é de 9119 litros e a energia útil necessária para preparação de AQS é de 142218 kWh/ano. A energia útil anual necessária para AQS, obtida a partir deste método, não difere muito da obtida pelo anterior, de 139595 kWh/ano, o que equivale a uma diferença de 1,84 %

4.2.2. Carga térmica de aquecimento da água da piscina

A carga térmica de aquecimento da água de uma piscina pode ser estimada por um balanço entre as perdas térmicas totais e os ganhos relativos à radiação solar incidente. Neste cálculo serão ignorados os ganhos devidos à radiação solar, pois a piscina não é afetada por estes. As perdas térmicas totais são perdas que se devem essencialmente a fenómenos de evaporação, radiação, convecção e devidas à adição de água de reposição.

A metodologia usada para o cálculo da carga térmica de aquecimento da piscina é a sugerida pela norma NP 4448:2007 (Instituto Português da Qualidade, 2007). Segundo esta norma, os cálculos são realizados considerando que a piscina está em repouso e são desprezadas as perdas térmicas devido à condução para o solo (que se afirmam desprezáveis exceto se existir um lençol freático perto do fundo da piscina).

4.2.2.1. Perdas térmicas por evaporação

Cumprindo a metodologia proposta na norma NP 4448:2007, as perdas térmicas por evaporação, q_e , para piscinas interiores e em repouso, são calculadas da seguinte forma:

$$q_e = (5,64 + 5,96 \times v_s) \times (P_w - P_{enc}) \quad (4.5)$$

Em que:

q_e – representa as perdas térmicas por evaporação [MJ/(m².dia)];

P_w – pressão de vapor saturado à temperatura da água da piscina (t_w) [kPa];

P_{enc} – pressão parcial de vapor de água no ar circundante da piscina [kPa];

v_s – velocidade do ar à superfície da piscina, normalmente compreendida entre 0,02 e 0,05 m/s.

A pressão de vapor saturado, P_w , pode ser obtida a partir de um gráfico ou de uma equação, ambos presentes na norma NP 4448:2007.

Relativamente à pressão parcial de vapor, P_{enc} , o seu valor pode ser obtido da seguinte forma:

$$P_{enc} = \frac{P_s \times RH}{100} \quad (4.6)$$

Na equação acima, P_s representa a pressão de vapor saturado à temperatura do ar, t_a , enquanto RH diz respeito à humidade relativa do ar.

É de esperar que a taxa de evaporação seja superior quanto maior o número de nadadores a utilizar a piscina. Apesar de na norma não existir uma forma de quantificar a taxa de evaporação em função do número de utilizadores, são realizadas algumas considerações acerca desse assunto. Desta forma, a norma informa que em situações em que se encontrem 5 nadadores por cada 100 m² de piscina pode-se observar aumentos na taxa de evaporação de 25 a 50 %. Quando a taxa de ocupação atingir valores na ordem dos 20 a 25 nadadores por cada 100 m², a taxa de evaporação pode exceder de 70 a 100 % a taxa de evaporação em condições de repouso.

4.2.2.2. Perdas térmicas por radiação

As perdas térmicas por radiação podem ser calculadas recorrendo à seguinte expressão:

$$q_r = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times \varepsilon_w \times \sigma \times (T_w^4 - T_s^4) = 0,086 \times \varepsilon_w \times h_r \times (T_w - T_s) \quad (4.7)$$

Sendo:

q_r – perdas térmicas por radiação [MJ/(m².dia)];

ε_w – emitância de grande comprimento de onda da água (cujo valor é 0,95);

σ – constante de Stefan-Boltzmann (igual a 5,67×10⁻⁸ W/(m².K⁴));

h_r – coeficiente de transmissão de calor por radiação [W/(m².K)];

T_w – temperatura da água da piscina [K];

T_s – temperatura do céu [K].

Em piscinas interiores considera-se $T_s = T_{enc}$ em que T_{enc} representa a temperatura das paredes do edifício envolvente da piscina, em graus K.

O coeficiente de transmissão de calor por radiação, h_r , pode ser calculado por recurso à equação seguinte:

$$h_r = \sigma \times (T_w^2 + T_s^2)(T_w + T_s) \approx (2,268 \times 10^{-7}) \left(\frac{T_w + T_s}{2} \right)^3 \quad (4.8)$$

4.2.2.1. Perdas térmicas por convecção

As perdas térmicas por convecção para o ar da atmosfera interior circundante podem ser calculadas pela seguinte expressão, presente em AS 3634:1989 (remetida pela NP 4448:2007):

$$q_c = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times (3,1 + 4,1 \times v_s)(t_w - t_a) \quad (4.9)$$

$$q_c = 0,086 \times (3,1 + 4,1 \times v_s)(t_w - t_a) \quad (4.10)$$

Onde:

q_c – perdas térmicas por convecção [MJ/(m².dia)];

t_w – temperatura da água da piscina [°C];

t_a – temperatura do ar [°C].

Importa aqui referir que, no caso de piscinas interiores ou de exteriores durante o verão, sempre que a temperatura do ar é superior à temperatura da água as perdas térmicas terão um valor negativo. Nesta situação a piscina apresenta ganhos térmicos por convecção, seja do ambiente (em piscinas exteriores) ou do ar da nave (em piscinas interiores).

4.2.2.2. Perdas devidas à adição de água para compensação da evaporação

Uma vez que a água da rede injetada na piscina para compensação das perdas de água se encontra a uma temperatura mais baixa, ocorrerá um arrefecimento da água da piscina. A energia necessária para aquecer a água da rede até à temperatura desejada pode ser calculada da seguinte forma:

$$q_{mku} = m_{evp} \times c_p \times (t_{mku} - t_w) \quad (4.11)$$

$$m_{evp} = \frac{q_e}{h_{fg}} \quad (4.12)$$

Em que:

q_{mku} – perdas térmicas devidas à adição de água da rede [MJ/(m².dia)];

t_{mku} – representa a temperatura da água injetada da rede [°C];

m_{evp} – taxa de evaporação diária [kg/(m².dia)];

c_p – calor específico da água a pressão constante [kJ/(kg.K)];

h_{fg} – calor latente de evaporação da água [MJ/kg].

4.2.2.3. Resultados obtidos para a carga de aquecimento da água da piscina

Os resultados obtidos para a carga térmica de aquecimento da água da piscina tiveram em conta as condições de funcionamento da PMLLC referidas anteriormente. Alguns dos parâmetros usados foram os recomendados pela norma. Considerou-se a velocidade do ar à superfície da piscina de 0,035 m/s, ou seja, um valor médio em relação ao recomendado pela norma. A temperatura considerada para a água injetada da rede foi de 15 °C. Depois de algumas conversões seguem-se, na Tabela 4.5, os resultados obtidos para a carga térmica, em kWh/dia, para as duas piscinas do complexo.

Tabela 4.5. Resumo da carga térmica de aquecimento da água da piscina.

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

A Tabela 4.5 permite verificar que as perdas térmicas por evaporação são as mais significativas, tornando as perdas térmicas por radiação e convecção quase desprezáveis.

Como a evaporação corresponde ao fenómeno que provoca maiores perdas na piscina, irão a seguir ser estudadas as poupanças monetárias associadas à aplicação de uma cobertura sobre o plano de água da piscina. De acordo com os dias, horários de funcionamento e com os dias de manutenção do complexo, a cobertura será aplicada durante 4164 horas (será aplicada nas horas de não utilização).

Assumindo, conforme a norma refere, uma redução das perdas de 90 % com a aplicação da cobertura, sabendo que o rendimento da caldeira é de 90,6% e com o preço

médio de 0,077 €/kWh de GN (baseado no histórico das faturas), a poupança relativa à energia térmica devida à evaporação e aquecimento da água de reposição é de 14253,53 €.

A colocação da cobertura irá também reduzir a quantidade de água evaporada, e assim, diminuir o consumo de água. A metodologia da norma permitiu concluir que a taxa de evaporação é de 1064,88 kg/dia para a piscina de 25 metros e 487,24 kg/dia para o tanque de aprendizagem. Seguindo a mesma metodologia e admitindo um custo de 2,60 €/m³ de água (baseado no histórico das faturas), a poupança total em água será de 632,90 € por ano.

Por fim, a poupança total, englobando perdas térmicas devidas à evaporação, aquecimento da água de reposição e a própria água de reposição, será de 14886,43 €/ano.

5. ESTUDO DA APLICAÇÃO DA COBERTURA SOBRE O PLANO DE ÁGUA

5.1. Escolha da cobertura

Para a obtenção de preços de possíveis coberturas a aplicar na PMLLC foram contactados diversos fornecedores. O orçamento com características mais apelativas foi fornecido pela empresa ACMA Sociedade de Construções, Lda.

A cobertura escolhida é automática (possui comando chave de 3 posições), feita de espuma de polietileno armado com 5 mm espessura, com remate perimetral e flutuador de PVC frontal com corda guia.

O preço total do orçamento da cobertura para as duas piscinas do complexo é de 28570 € ao qual acresce IVA à taxa legal em vigor. Estas coberturas têm 4 anos de garantia.

Na Figura 5.1 pode ver-se uma ilustração da cobertura orçamentada.



Figura 5.1. Cobertura orçamentada por ACMA Sociedade de Construções.

5.2. Pressupostos assumidos

A análise financeira da aplicação da cobertura baseia-se nos resultados energéticos obtidos anteriormente e algumas suposições que serão mencionadas a seguir.

Para a taxa de IVA em vigor, o investimento inicial para a cobertura selecionada é de 35141,10 € não considerando as amortizações do investimento. Apesar do tempo de vida útil esperado ser de mais de 4 anos, optou-se por fazer os cálculos para um período de vida de 4 anos, pois coincide com a garantia da cobertura. Segundo o fornecedor, a durabilidade é alargada consideravelmente caso a cobertura não esteja exposta à radiação solar, o teor de cloro na água não ultrapasse os 3 ppm e a temperatura esteja abaixo dos 32 °C. Foi considerada, portanto, a situação mais desfavorável. Admite-se um valor residual nulo ao final do tempo de vida.

Os *cash-flows* líquidos serão anuais e constantes durante os 4 anos. Terão o valor de 14.886,43 € e são respeitantes às poupanças de energia térmica resultantes das perdas por evaporação e aquecimento da água de reposição, bem como ao custo de água necessário para repor a água evaporada. Considera-se que o preço da água e GN é constante no período de análise.

A parcela de capitais próprios neste investimento será de 60 % e os restantes 40 % de capital alheio. A taxa de juro exigida para os capitais próprios será de 6 % e a taxa de juro efetiva global a pagar pelos capitais alheios será de 12 %. A taxa de impostos a que a empresa está sujeita admitiu-se ser de 22,5 % (21 % de IRC e 1,5 % de derrama). Estes pressupostos conduzirão a uma taxa de atualização a preços constantes de 7,32 %/ano.

5.3. Indicadores financeiros

Para verificar a viabilidade financeira do investimento foi considerado o Valor Líquido Atual (VLA), o Período de Retorno (PR), o Índice de Rentabilidade (IR) e a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

O Valor Líquido Atual representa a soma dos valores atualizados para o instante inicial de todos os fluxos monetários. Se $VLA > 0$ o projeto é financeiramente favorável.

$$VLA = \sum_{k=0}^n \frac{CF_k - I_k}{(1+i)^k} + \frac{VR}{(1+i)^n} \quad (5.1)$$

CF_k – representa os fluxos monetários de exploração;

I_k – representa o valor contabilístico do ativo não corrente a adquirir;

i – taxa de atualização;

VR – valor residual;

k – contador de tempo (ano em questão).

Entende-se por Período de Retorno o tempo necessário para a restituição do capital investido, ou seja, o prazo r até que:

$$\sum_{k=0}^{k=r} \frac{CF_k}{(1+i)^k} = \sum_{k=0}^{k=r} \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (5.2)$$

Como é previsível, deseja-se que o PR seja o mais baixo possível.

O Índice de Rentabilidade é um indicador que resulta do rácio entre os valores atualizados dos *cash-flows* gerados pelo projeto e os valores atualizados dos capitais investidos.

$$IR = \left(\sum_{k=0}^n \frac{CF_k}{(1+i)^k} + \frac{VR}{(1+i)^n} \right) / \left(\sum_{k=0}^n \frac{I_k}{(1+i)^k} \right) \quad (5.3)$$

O projeto é financeiramente favorável se $IR > 1$ ($VLA > 0$).

A Taxa Interna de Rentabilidade é a taxa de atualização que torna o VLA nulo (pressupõe que os *cash-flows* gerados são reinvestidos na mesma taxa).

$$\sum_{k=0}^n \frac{CF_k - I_k}{(1+i)^k} + \frac{VR}{(1+i)^n} = 0 \quad (5.4)$$

5.4. Apresentação e discussão dos resultados

A aplicação da metodologia anterior foi aplicada numa folha de Microsoft Excel.

Os resultados obtidos, para as condições assumidas anteriormente, foram:

- O VLA apresenta o valor de 14920,26 €, ou seja, o projeto é financeiramente favorável, pois remunera o capital aplicado a uma taxa superior à pretendida;
- O PR é de 2 anos, 8 meses e 10 dias;

- O IR é de 1,42, o que significa que o projeto é financeiramente favorável, pois o valor do capital recuperado é superior ao do aplicado;
- A TIR apresenta o valor de 25,023 %.

Todos os parâmetros analisados conduzem, do ponto de vista financeiro, a uma opinião favorável quanto à aplicação da cobertura. Apesar de ser um investimento elevado, o seu retorno é relativamente rápido, mesmo tendo sido calculado para a situação mais desfavorável.

6. CONCLUSÕES

Foi feita uma avaliação energética da PMLLC baseada nas faturas de GN e de eletricidade, e nas características dos principais equipamentos consumidores de energia.

No ano de 2014 o complexo registou um consumo de 1.072,53 MWh de GN e 526,89 MWh de eletricidade. Apesar do consumo de GN representar praticamente o dobro do consumo de energia elétrica (67 % contra 33 %), os custos não refletem a mesma proporção, uma vez que a energia elétrica é responsável por 52 % dos custos totais de energia do complexo.

O consumo específico de energia no complexo em 2014 foi de 2776,06 kWh/m² de superfície de piscina e de 740,14 kWh/m² de área coberta, encontrando-se enquadrados com os indicadores obtidos na bibliografia para outros complexos com piscinas. O custo global de energia e de água foi de 2,88 € por cada utilizador.

Atendendo às faturas do ano de 2014, concluiu-se que os principais equipamentos funcionaram a 66,57 % da sua carga nominal.

As perdas térmicas devidas à evaporação e à energia necessária para aquecer a água evaporada são as mais significativas, representando um consumo de 1.074 kWh por dia. A aplicação da cobertura durante o período de não funcionamento permite poupar, anualmente, 14.886 €. O período de retorno associado à colocação de uma cobertura isotérmica de espuma com enrolamento automático é de 2 anos, 8 meses e 10 dias.

6.1. Propostas de trabalho futuro

Nesta dissertação não foi considerada a influência da aplicação da cobertura em termos de qualidade do ar ambiente. A redução da evaporação provocará uma diminuição da humidade relativa e, conseqüentemente, uma menor necessidade de desumidificação do ar. Será interessante o estudo da poupança relativa à desumidificação.

Efetuar medições dos caudais de água na piscina, com caudalímetros ultrassónicos, permitirá a realização de uma desagregação dos consumos térmicos, permitindo refinar os resultados estimados neste trabalho.

O mesmo exercício poderá ser conduzido para a energia elétrica. A instalação de analisadores de energia nos principais equipamentos elétricos permitirá validar as estimativas de tempo de funcionamento admitidas neste trabalho.

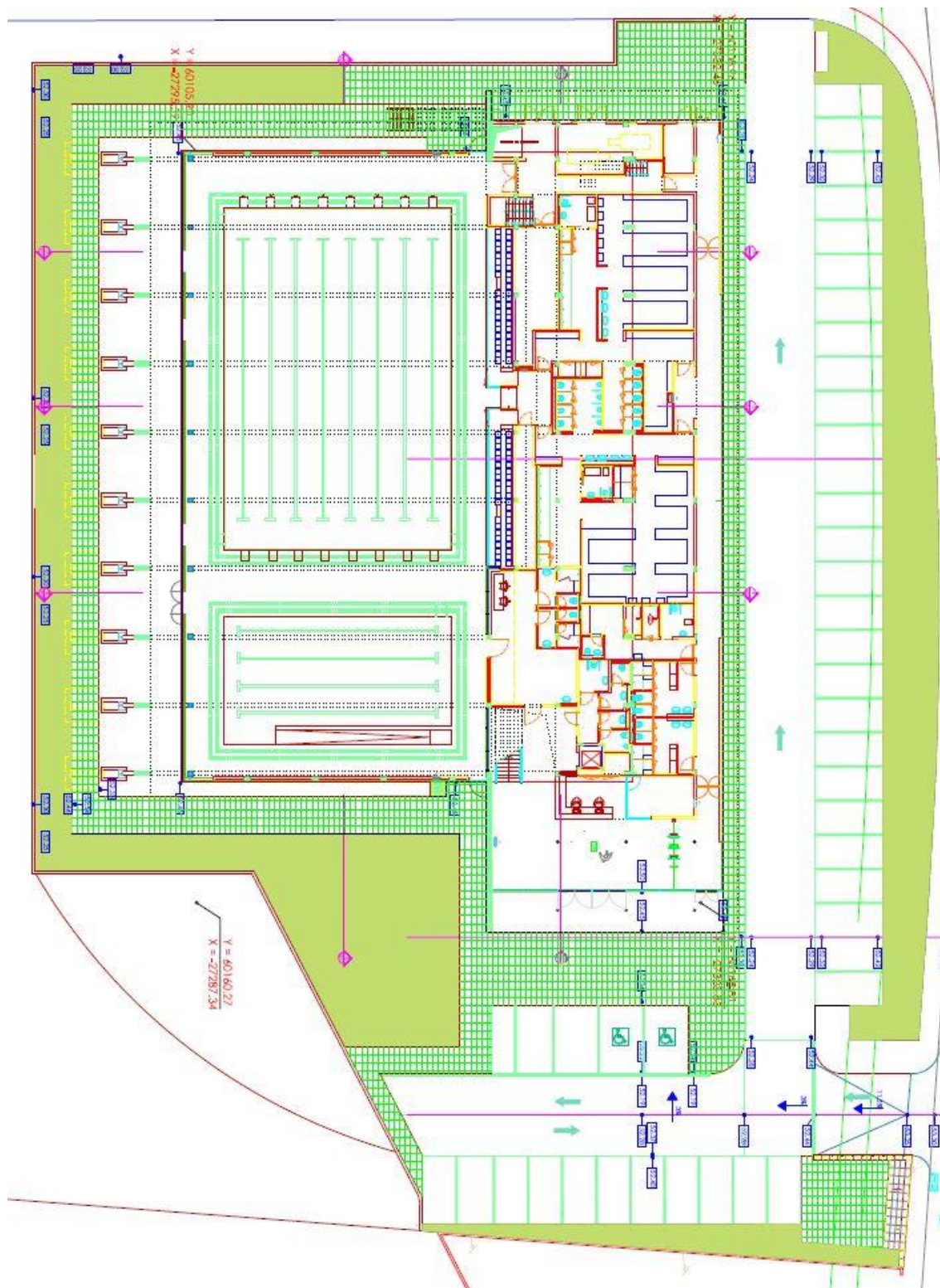
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (2015). *PNAEE - Estado*. Obtido em 13 de abril de 2015, de Agência para a Energia: <http://www.adene.pt/pnaee-estado>
- Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42, 1298–1314.
- Beusker, E., Stoy, C., & Pollalis, S. N. (2012). Estimation model and benchmarks for heating energy consumption of schools and sport facilities in Germany. *Building and Environment*, 49, 324-335.
- BizEE. (2015). *Degree Days - Weather Data for Energy Professionals*. Obtido em 1 de agosto de 2015, de <http://www.degreedays.net/>
- Carrinho, A. F. (2010). Poupança energética associada ao uso de cobertura isotérmica sobre o plano de água. *Estudo de caso realizado na Piscina Municipal de Rio Tinto*. Porto.
- Comissão Europeia. (2014). *A estratégia Europa 2020 em poucas palavras*. Obtido em 14 de abril de 2015, de http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/index_pt.htm
- Comissão Europeia. (2015). *Metas Europa 2020*. Obtido em 14 de abril de 2015, de http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_pt.pdf
- Comissão para as Alterações Climáticas. (2015). *Cumprir Quioto.pt*. Obtido em 25 de março de 2015, de <http://www.cumprirquioto.pt/indicators/List.action>
- ERSE. (2009). *Enquadramento legislativo do PPEC*. Obtido em 24 de março de 2015, de <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/Paginas/Enquadramentolegislativo.aspx?master=ErsePrint.master>
- EUR-Lex. (2011). Obtido em 25 de março de 2015, de Access to European Union law: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=URISERV:128060>
- Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. *Applied Energy*, 97, 101-114.
- Galp Energia. (2010). *Fatura de gás natural*. Obtido em 3 de agosto de 2015, de <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Facturacao/Paginas/FacturaGasNatural.aspx>

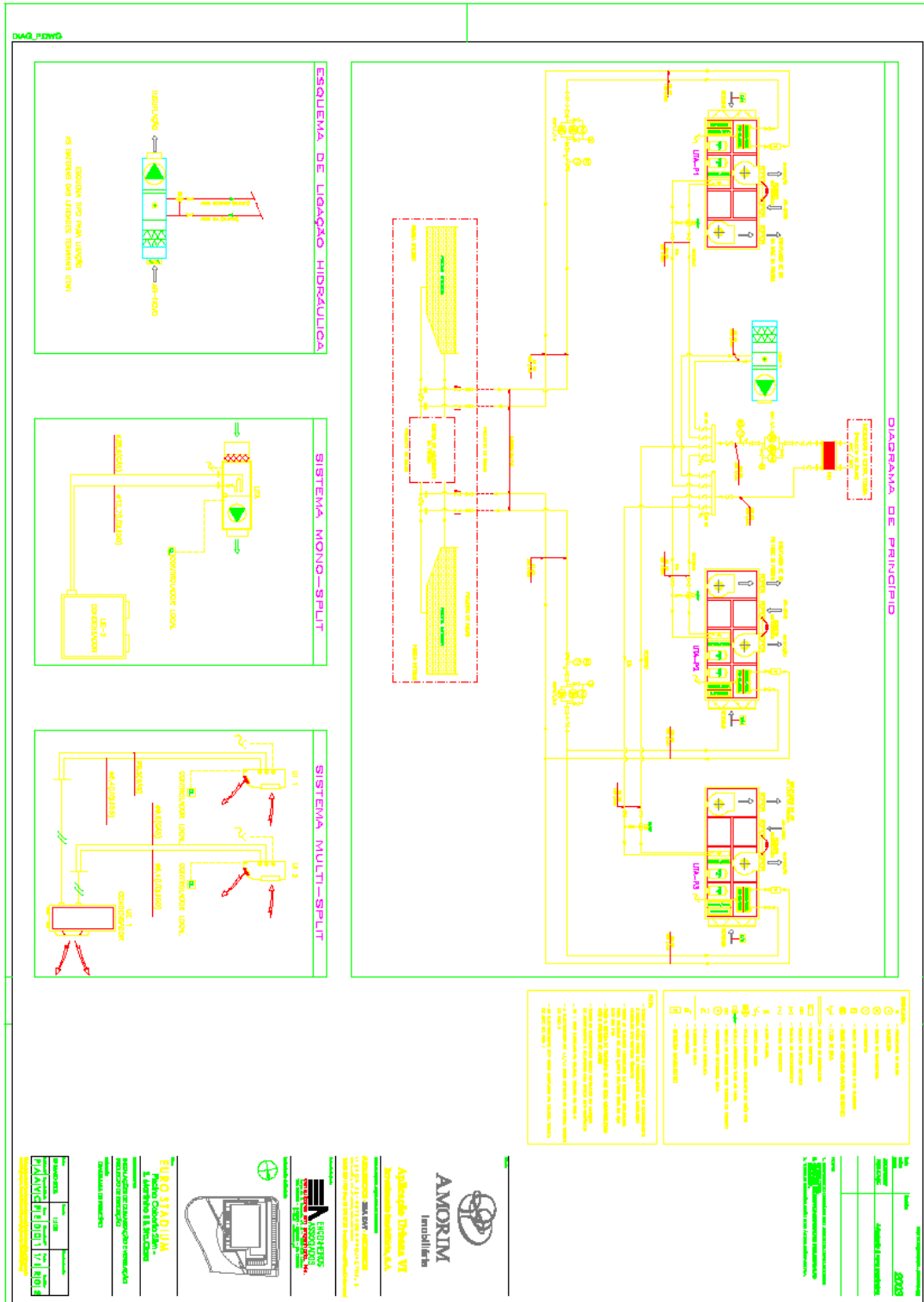
- Instituto Português da Qualidade. (2007). Aquecimento Solar; Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas; Regras de dimensionamento, concepção e instalação. Obtido em 26 de maio de 2015
- Kampel, W., Aas, B., & Bruland, A. (2013). Energy-use in Norwegian swimming halls. *Energy and Buildings*, 59, 181-186.
- Kampel, W., Aas, B., & Bruland, A. (2014). Characteristics of energy-efficient swimming facilities - A case study. *Energy*, 75, 508-512.
- Nova Enciclopédia Portuguesa* (Vol. 10). (1992). Lisboa: Ediclube.
- Oliver-Solà, J., Armero, M., Foix, B. M., & Rieradevall, J. (2013). Energy and environmental evaluation of municipal facilities: Case study in the province of Barcelona. *Energy Policy*, 61, 920-930.
- Pool Cover Specialists. (2015). *PowerTRAK™ (Semi-Automatic) Swimming Pool Cover System*. Obtido em 16 de agosto de 2015, de <http://www.poolcovers.com/products/power-trak-semi-automatic/>
- Portal Energia. (2008). *Vantagens do protocolo de Quioto*. Obtido em 23 de março de 2015, de <http://www.portal-energia.com/protocolo-de-quioto/>
- Porto Editora. (2003-2015a). *Evaporação*. Obtido em 16 de agosto de 2015, de Infopédia: [http://www.infopedia.pt/\\$evaporacao](http://www.infopedia.pt/$evaporacao)
- Porto Editora. (2003-2015b). *Protocolo de Quioto*. Obtido em 23 de março de 2015, de Infopédia: [http://www.infopedia.pt/\\$protocolo-de-quioto](http://www.infopedia.pt/$protocolo-de-quioto)
- PowerPlastics Pool Covers. (2015). *Schools and Commercial Pools*. Obtido em 28 de julho de 2015, de http://www.powerplastics.co.za/wp-content/uploads/2013/08/PowerPlastics-Pool-Covers_Schools-and-Commercial-Pools_April-2015.pdf
- Público. (2014). Portugal já cumpriu o Protocolo de Quioto. Obtido em 24 de março de 2015, de <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/portugal-ja-cumpriu-o-protocolo-de-quioto-1635328>
- Saari, A., & Sekki, T. (2008). Energy Consumption of a Public Swimming Bath. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2, 202-206.
- Seneviratne, M. (2007). *A Practical Approach to Water Conservation for Commercial and Industrial Facilities*. Australia: Elsevier Ltd.
- Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C., Droutsas, K., Balaras, C., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G., Papanikolaou, N. (1998). Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools. *Energy and Buildings*, 27, 123-135.

WU Weather Undergroud. (2015). Obtido em 10 de agosto de 2015, de The Weather Channel, LLC: <http://portuguese.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ICOIMBRA10#history/s20130101/e20141231/mcustom>

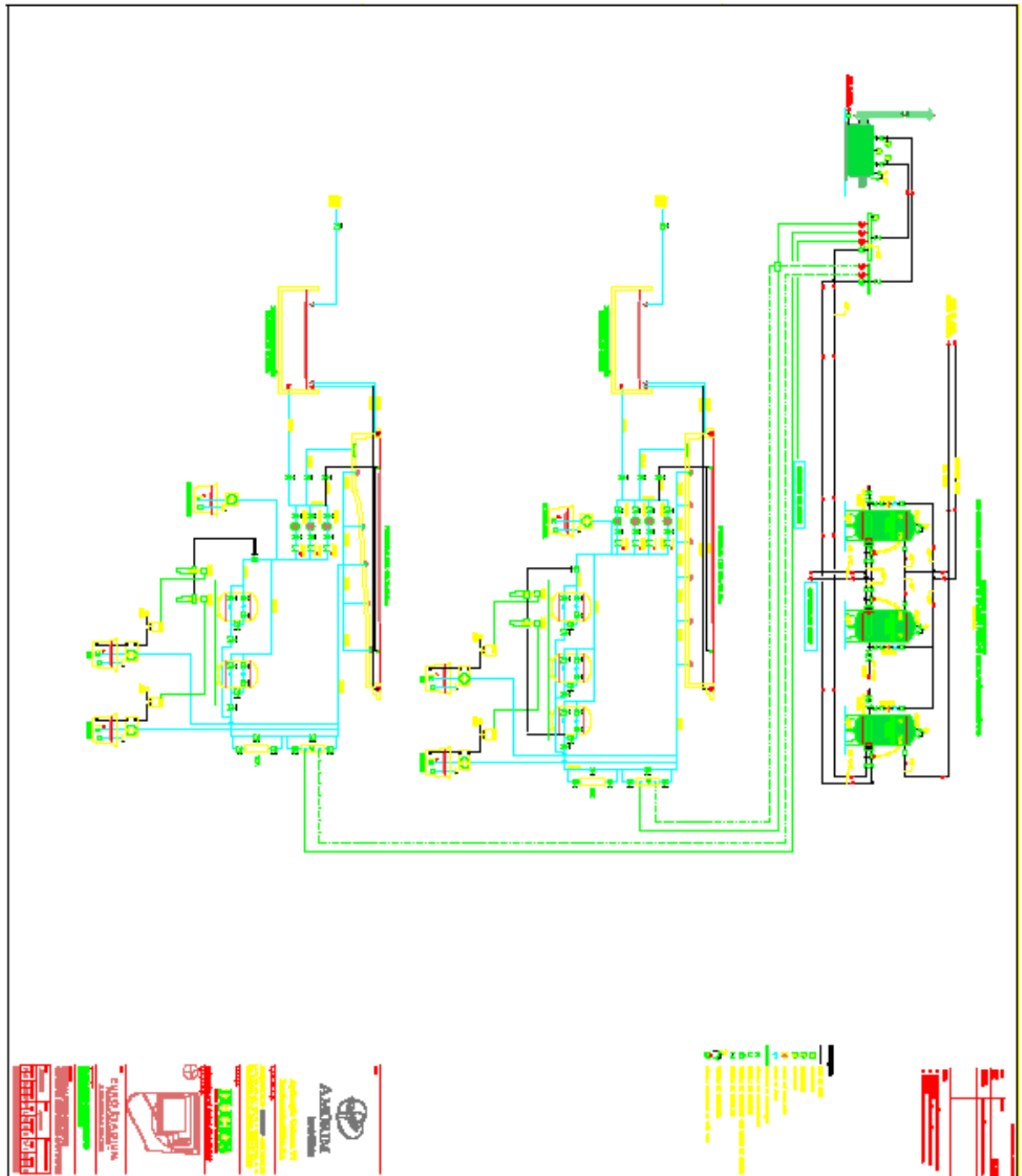
ANEXO A – PLANTA DO COMPLEXO



ANEXO B – ESQUEMA DE FLUÍDOS TÉRMICOS



ANEXO C – ESQUEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA



APÊNDICE A – PERFIS DE UTILIZAÇÃO DA PMLLC

Mês	nº dias	2013		2014	
		Utilizadores/ mês	Utilizadores/ dia	Utilizadores/ mês	Utilizadores/ dia
jan	31	6803	219	6791	219
fev	28	6038	216	5918	211
mar	31	7291	235	6277	202
abr	30	5983	199	7245	242
mai	31	7217	233	7193	232
jun	30	5473	182	5406	180
jul	31	3757	121	4609	149
ago	31	679	22	845	27
set	30	3278	109	3248	108
out	31	7427	240	7600	245
nov	30	7892	263	7289	243
dez	31	5206	168	5512	178
	Total 2013	67044	Total 2014	67933	

APÊNDICE B – CONSUMOS ELÉTRICOS NO PERÍODO ABRIL DE 2013 A MARÇO DE 2015

Mês	Consumo [kWh]		Custo [€]	
	2013/2014	2014/2015	2013/2014	2014/2015
abr	39285,48	42274,95	6297,46	7134,00
mai	40614,09	41804,46	6499,65	7053,58
jun	40666,51	41047,34	6493,46	6918,96
jul	42397,43	43666,63	6731,20	7363,47
ago	34913,74	46188,97	5580,40	7861,84
set	35902,43	47476,00	6434,79	7501,07
out	44030,34	48189,35	8432,43	7750,16
nov	44246,46	42854,85	7825,67	7012,47
dez	45221,80	41125,25	7343,81	6811,44
jan	45910,45	40864,81	7873,44	6931,49
fev	41598,69	36736,88	7122,96	6291,21
mar	44757,50	37295,50	7626,41	6349,69
Total	499544,92	509525,00	84261,68	84979,38

APÊNDICE C – CONSUMOS ELÉTRICOS NO ANO 2014

2014	Consumo [kWh]	Custo [€]
jan	45910,45	7873,44
fev	41598,69	7122,96
mar	44757,50	7626,41
abr	42274,95	7134,00
mai	41804,46	7053,58
jun	41047,34	6918,96
jul	43666,63	7363,47
ago	46188,97	7861,84
set	47476,00	7501,07
out	48189,35	7750,16
nov	42854,85	7012,47
dez	41125,25	6811,44
Total	526894,45	88029,81

APÊNDICE D – CONSUMOS TÉRMICOS ENTRE 2013 E 2014

Mês \ Ano	Consumo Faturado [m ³]		Consumo Faturado [kWh]		Consumo Faturado [€]	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
jan	17576	17741	185046,18	186783,36	13714,60	14104,80
fev	10749	10382	113169,17	109305,27	8431,44	8326,74
mar	13834	14835	145649,12	156187,99	11023,08	11679,05
abr	7092	8928	74667,02	93997,06	5798,56	7133,43
mai	9664	14178	101745,92	149270,87	7829,66	11151,12
jun	5847	5916	61559,23	62285,69	4791,45	4835,44
jul	3499	8380	36838,68	88227,53	3063,39	6957,32
ago	1752	2471	18445,66	26015,54	1415,34	1927,48
set	5137	4428	54084,11	46619,51	4202,86	3849,21
out	4330	6255	45587,73	65854,79	3652,01	5435,52
nov	13269	8332	139700,60	87722,17	10446,28	7164,44
dez	8566	25	90185,80	263,21	6784,43	333,31
Total	101315	101871	1066679,22	1072532,98	81153,10	82897,86

PCI [MJ/kg]	Peso esp. [kg/m ³ (n)]	PCI [MJ/m ³ (n)]	1 kWh = [MJ]	PCI [kWh/m ³ (n)]
45,1	0,8404	37,902	3,6	10,528

APÊNDICE E – CONSUMO DE ÁGUA ENTRE 2012 E 2014

Mês	Consumo [m ³]			Fatura [€]		
	Ano					
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
jan	2410	808	1031	3213,67	2079,60	2651,43
fev	1244	726	716	3181,60	1873,56	1855,82
mar	2641	822	788	3566,78	2114,77	2037,66
abr	865	920	799	2227,38	2360,98	2065,47
mai	1421	944	905	3627,21	2421,28	2333,19
jun	2012	811	811	5299,68	2087,12	2095,77
jul	451	974	808	1185,07	2496,65	2088,19
ago	957	1530	697	2459,01	3893,52	1807,85
set	1061	750	660	2796,90	1933,88	1714,38
out	1169	985	958	2992,76	2524,28	2467,06
nov	853	871	658	2197,17	2237,86	1709,33
dez	610	747	748	1585,15	1924,79	1936,65
Total	15694	10888	9579	34332,38	27948,29	24762,80

APÊNDICE F – CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA E DE ÁGUA

2014	Utentes	Consumo por utente [kWh/utente]		Consumo de água		
		Eletricidade	Gás natural	[m ³]	[L]	[L/utente]
jan	6791	6,76	27,50	1031	1031000	151,82
fev	5918	7,03	18,47	716	716000	120,99
mar	6277	7,13	24,88	788	788000	125,54
abr	7245	5,84	12,97	799	799000	110,28
mai	7193	5,81	20,75	905	905000	125,82
jun	5406	7,59	11,52	811	811000	150,02
jul	4609	9,47	19,14	808	808000	175,31
ago	845	54,66	30,79	697	697000	824,85
set	3248	14,62	14,35	660	660000	203,20
out	7600	6,34	8,67	958	958000	126,05
nov	7289	5,88	12,03	658	658000	90,27
dez	5512	7,46	0,05	748	748000	135,70

APÊNDICE G – CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO DA ÁGUA DA PISCINA

$$q_e = (5,64 + 5,96 \times v_s) \times (P_w - P_{enc})$$

Propriedade	Piscina 25 m	Tanque aprendizagem
t_w [°C]	28,5	29,5
t_a [°C]	28	28
P_w [kPa]	3,9229	4,1383
P_a [kPa]	3,8152	3,8152
HR [%]	75	75
P_{enc} [kPa]	2,8614	2,8614
v_s [m/s]	0,035	0,035
q_e [MJ/(m ² .dia)]	6,21	7,47

$$q_r = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times \varepsilon_w \times \sigma \times (T_w^4 - T_s^4) = 0,086 \times \varepsilon_w \times h_r \times (T_w - T_s)$$

Propriedade	Piscina 25 m	Tanque aprendizagem
ε_w	0,95	0,95
σ [W/(m ² .K ⁴)]	5,67E-08	5,67E-08
$T_{enc} = T_s$ [K]	301,15	301,15
h_r [W/(m ² .K)]	6,2097	6,2407
T_w [K]	301,65	302,65
T_a [K]	301,15	301,15
q_r [MJ/(m ² .dia)]	0,2537	0,7648

$$q_c = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times (3,1 + 4,1 \times v_s)(t_w - t_a)$$

Propriedade	Piscina 25 m	Tanque aprendizagem
q_c [MJ/(m ² .dia)]	0,1401	0,4204

APÊNDICE H – CÁLCULO DAS PERDAS TÉRMICAS DA ÁGUA DA PISCINA

$$q_{mku} = m_{evp} \times c_p \times (t_{mku} - t_w)$$

$$m_{evp} = \frac{q_e}{h_{fg}}$$

Propriedade	Piscina 25 m	Tanque aprendizagem
t_{mku} [°C]	15	15
h_{fg} [MJ/kg]	2,43404	2,43168
c_p [kJ/(kg.K)]	4,186	4,186
m_{evp} [kg/(m ² .dia)]	2,5506	3,0712
q_{mku} [MJ/(m ² .dia)]	0,1441	0,1864

RESUMO [kWh/dia]	Piscina 25m	T. Aprendiz.	P25 + TA
Perdas térmicas por evaporação	719,99	329,11	1049,10
Perdas térmicas por radiação	29,42	33,70	63,12
Perdas térmicas por convecção	16,25	18,52	34,77
Perdas térmicas devidas à adição de água (evaporada)	16,72	8,21	24,93
Evaporação + reposição	736,71	337,33	1074,03
Total	782,37	389,56	1171,93

APÊNDICE I – TEMPO DE APLICAÇÃO DA COBERTURA E POUPANÇA ENERGÉTICA

Número de domingos por ano [dia]	52
Número de sábados por ano [dia]	52
Dias de úteis de funcionamento da piscina no ano [dia]	246
Horas diárias aplicação cobertura domingos [h/dia]	24
Horas diárias aplicação cobertura sábados [h/dia]	13,5
Horas diárias aplicação cobertura úteis [h/dia]	9
Horas anuais aplicação cobertura domingos [h/ano]	1248
Horas anuais aplicação cobertura sábados [h/ano]	702
Horas anuais aplicação cobertura úteis [h/ano]	2214
Horas totais anuais aplicação cobertura [h/ano]	4164

Redução de perdas térmicas devido à cobertura [%]	90
Perdas térmicas evitadas P25+TA [kWh/dia]	966,63
Perdas térmicas evitadas P25+TA [kWh/hora]	40,28
Perdas térmicas evitadas P25+TA c/ eficácia [kWh/ano]	167710,41
Rendimento da caldeira	90,60
Perdas térmicas evitadas P25+TA c/ eficácia e rendimento [kWh/ano]	185110,83
Preço kWh GN [€/kWh]	0,0770
Poupança anual [€/ano]	14.253,53

APÊNDICE J – POUPANÇA DE ÁGUA ASSOCIADA À APLICAÇÃO DA COBERTURA

Redução da evaporação da água devido à cobertura [%]	90
Perda de água evitada P25+TA [kg/dia]	1396,91
Massa volúmica água [kg/m³]	995,65
Perda de água evitada P25+TA [m³/dia]	1,40
Perda de água evitada P25+TA [m³/hora]	0,0585
Perda de água evitada P25+TA c/ correção [m³/ano]	243,42
Preço água [€/m³]	2,60 €
Poupança anual [€/ano]	632,90 €

APÊNDICE L – PARÂMETROS FINANCEIROS

Taxa	[%]
Taxa de juro exigida para os capitais próprios	6
Parcela de capitais próprios no investimento	60
Parcela de capitais alheios no investimento	40
Taxa de juro efetiva global a pagar pelos capitais alheios	12
Taxa de impostos da empresa (IRC + Derrama)	22,50
Taxa de atualização a utilizar numa análise a preços constantes	7,32

APÊNDICE M – ANÁLISE FINANCEIRA

k	VLA	PR	IR	TIR para i = 25,023 %
0	-35141,10	-35141,10	0,00	-35141,1
1	-21270,03	-21270,03	0,39	-23234,1
2	-8345,07	-8345,07	0,76	-13710,3
3	3698,32	3698,32	1,11	-6092,69
4	14920,26	14920,26	1,42	0,310442
5	25376,78	25376,78	1,72	4873,811
6	35120,09	35120,09	2,00	8771,895
7	44198,84	44198,84	2,26	11889,79
8	52658,35	52658,35	2,50	14383,64
9	60540,87	60540,87	2,72	16378,36
10	67885,73	67885,73	2,93	17973,84