



Eficiência e Simulação energética de piscinas interiores

(Piscinas municipais de V. N. de Foz Côa)

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Energia para a Sustentabilidade

Energy efficiency and simulation of indoor swimming pools

Autor

Carlos Daniel Rosa Videira

Orientador

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Júri

Presidente

Professor Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração institucional

Câmara Municipal de Vila Nova de Foz Côa



Vila Nova de Foz Côa

Coimbra, Setembro, 2017

“Santo Amaro, Santo Amaro, SantoAmaro lá no alto, quando o sol nasce logo lá dá”

Ditado fozcoense

Aos meus Amigos

Agradecimentos

Quero desde já agradecer ao meu orientador Professor Doutor Adélio Gaspar pela disponibilidade e apoio que me concedeu ao longo da elaboração deste trabalho. Agradeço também ao Professor Francisco Lamas pelos conselhos que se vieram a tornar numa grande mais-valia, ao Doutor Marco Fernandes pela disponibilidade demonstrada e pela ajuda que me deu no dimensionamento do modelo energético, pelo qual lhe fico muito grato.

À instituição Câmara Municipal de Vila Nova de Foz Côa, na pessoa do Professor António Jorge Jerónimo, Engenheiro Filipe Jorge, Professor Zé Pedro Marra e Professor Filipe Faustino, agradeço pelo apoio desde a primeira hora e pela disponibilidade em ajudar neste estudo.

Aos meus colegas de casa durante os últimos dois anos, Ana da Conceição, Zé Manel e Rui Pimenta, pelo apoio que sempre demonstraram e pelas boas memórias que Coimbra vai deixar. Aos meus amigos de sempre, Emanuel e Francisco, que sempre me apoiaram e continuaram a apoiar nesta jornada que é a vida. Aos tios Isabel e Rui Pedro pela sua boa vontade e logística proporcionada. À minha namorada, pelo carinho e amor que me deu, foi ela a grande motivadora de toda esta jornada nos momentos mais difíceis.

Por último e mais importante, queria agradecer a toda a minha família, ao meu irmão, sobrinha e em especial aos meus pais que são a minha fonte de inspiração para a vida e o modelo a seguir.

Resumo

Os complexos desportivos com piscinas interiores apresentam uma fatura energética elevada, sendo sem dúvida das instalações que mais potencial têm para a aplicação e desenvolvimento de técnicas de eficiência energética que permitam a redução dos seus consumos.

Pretendeu-se que o objeto de estudo fosse as instalações das piscinas municipais de V. N. de Foz Côa, pelo fato de logisticamente serem de fácil acesso para recolha de dados e, sendo um edifício antigo, pressupôs-se a existência de oportunidades para melhoramentos no que diz respeito ao seu consumo de energia. Passiva ou ativamente existiram várias formas de reduzir os consumos de energia. Assim, pretendeu-se realizar um estudo de caracterização para identificar onde, como e com que resultado, medidas de eficiência energética afetaram o consumo final de energia das instalações.

Sobre os resultados da caracterização, realizou-se um estudo técnico e económico das instalações através da utilização dos softwares de simulação Energyplus, Openstudio e Sketchup, onde se conseguiu de forma simples aplicar diferentes soluções construtivas e alterar certos comportamentos de utilização.

Com a implementação das medidas de eficiência energética propostas, verificou-se uma diminuição teórica de 38,09% no consumo de electricidade e 28,58% no consumo de gás propano.

Chegou-se à conclusão de que o edifício estava numa categoria dita “normal” no que diz respeito à sua eficiência e após as alterações propostas passou a ser considerado um edifício “eficiente” segundo o Guia da DETREE 2013.

Palavras-chave: Energia; Eficiência energética; Piscinas interiores; Simulação energética; Sustentabilidade;

Abstract

The sports complexes with indoor swimming pools have a high energy bill, without doubt the facilities that have the most potential for the application and development of energy efficiency techniques that allow the reduction of their consumption.

It was intended that the object of study be the facilities of the municipal swimming pools of VN de Foz Côa, because logistically they are easy to access for data collection and, being an old building, there were assumed opportunities for improvements in what your energy consumption. Passively or actively there have been several ways to reduce energy consumption. Thus, it was intended to conduct a characterization study to identify where, how and with what result, energy efficiency measures affected the final energy consumption of the facilities.

On the results of the characterization, a technical and economic study of the installations was carried out through the use of the Energyplus, Openstudio and Sketchup simulation software, where it was possible to apply different constructive solutions and to change certain usage behavior.

With the implementation of the energy efficiency measures proposed, there was a theoretical decrease of 38.09% in electricity consumption and 28.58% in the consumption of propane.

It was concluded that the building was in a so-called "normal" category with regard to its efficiency and after the proposed changes it was considered an "efficient" building according to the DETREE 2013 Guide.

Keywords: Energy; Energy efficiency; Swimming pools; Energy simulation; Sustainability;

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
SIGLAS.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Eficiência energética	5
2.2. Legislação	6
2.3. Eficiência energética em piscinas interiores	8
2.3.1 Envolvente do edifício	10
2.3.2 Ambiente interior	11
2.3.3 Aquecimento e qualidade da água.....	12
2.3.4 Balanço energético de piscinas interiores.....	14
2.3.4.1. Convecção	14
2.3.4.2. Evaporação	15
2.3.4.3. Caudal de circulação.....	16
2.3.4.4. Conforto	16
2.3.4.5. Circulação de ar.....	17
3. CASO DE ESTUDO E METODOLOGIA	18
3.1 Metodologia	18
3.1.1 Softwares de simulação	19
3.1.2 Apresentação do edifício.....	21
3.2.1 Modelo geométrico.....	22
3.2.2 Dados meteorológicos.....	24
3.2.3 Materiais e soluções construtivas	25
3.2.4 Ocupação.....	26
3.2.5 Iluminação e equipamentos.....	27

3.2.6 Sistemas Técnicos.....	28
3.2.6.1 Aquecimento de água	28
3.2.6.2 Sistema AVAC	29
3.2.6.3 Sistema de desumidificação	30
3.2.6.4 Piscina.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Validação do modelo de simulação	31
4.2. Implementação de medidas de eficiência energética	33
4.2.1 Nova iluminação.....	33
4.2.2 Novas soluções construtivas	35
4.2.3 Mudança de comportamentos.....	38
4.2.4 Alterações nas temperaturas do sistema HVAC.....	40
4.3 Eficiência do edifício após melhorias propostas	41
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO A.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 - Consumo de energia primária em Portugal de 2000 a 2012, adaptado de ADENE.	2
Fig. 2.1 - Relação entre o consumo de energia e o seu custo final, adaptado de DETREE 2013.	8
Fig. 2.2 - Representação da diferença entre o que é considerado eficiência em complexos desportivos com e sem piscina, adaptado de DETREE 2013.....	9
Fig. 2.3 - Perdas de energia num complexo com piscinas interiores, adaptado de [18].	10
Fig. 3 – Imagem de marca dos softwares utilizados.	20
Fig. 3.1 - Vista satélite sobre o edifício em estudo, adaptada de GoogleEarth®.	21
Fig. 3.2 - Fotografia real vs. modelo de simulação (vista Norte e Este)	22
Fig. 3.3 - Fotografia real vs modelo de simulação (vista Sul e Oeste)	23
Fig. 3.4 - Vista aérea de sul do modelo	23
Fig. 3.5 - Zonas térmicas do edifício.....	24
Fig. 3.6 - Perfil de ocupação funcionários e utentes, adaptado de OpenStudio®	26
Fig. 3.7 – Representação esquemática no OpenStudio® do sistema de aquecimento de água	28
Fig. 3.8 - Representação esquemática no OpenStudio® do Sistema AVAC.....	29
Fig. 3.9 - Representação esquemática no OpenStudio® do sistema de desumidificação.....	30
Fig. 4.1 – Consumo anual de electricidade real vs simulado	31
Fig. 4.2 – Distribuição dos consumos simulados por categorias.....	31
Fig. 4.3 – Consumo anual de gás propano real vs simulado	32
Fig. 4.4 – Proporção real entre gás e pellets para aquecimento de águas	32
Fig. 4.5 – Consumo anual da iluminação antes vs depois das melhorias.....	34
Fig. 4.6 – Consumo anual do edifício considerando cada solução de reabilitação energética apresentada	36
Fig. 4.7 – Consumo anual do edifício antigo vs utilizando as três novas soluções construtivas.....	37
Fig. 4.8 – Novo perfil de utilização do pano de cobertura da piscina.	39
Fig. 4.9 – Comparação da reposição anual de água na piscina (evaporação).....	39
Fig. 4.10 – Comparação do consumo anual de Gás propano para aquecimento.	40
Fig. 4.11 – Comparação do consumo anual de Gás propano com a mudança de setpoint de temperatura.	40

Fig. 4.12 – Comparação do consumo anual de eletricidade por uso final, antes e depois das medidas de melhoria estudadas.	41
Fig. 4.13 – Comparação do consumo anual de gás propano, antes e depois das melhorias.....	42
Fig.A.1 - Perfil de funcionamento da iluminação exterior, adaptado de OpenStudio	49
Fig.A.2 - Perfil de funcionamento da iluminação sala das máquinas, adaptado de OpenStudio	49
Fig.A.3 - Perfil de funcionamento da iluminação sala dos espectadores, adaptado de OpenStudio	50
Fig.A.4 - Perfil de funcionamento da iluminação e equipamentos da sauna, adaptado de OpenStudio.....	50
Fig.A.5 - Perfil de funcionamento dos secadores de cabelo, adaptado de OpenStudio	51
Fig.A.6 - Perfil de funcionamento TV/PC's e iluminação dos restantes espaços, adaptado de OpenStudio®.	51
Fig.A.7 - Perfil de funcionamento do pano de cobertura da piscina, adaptado de OpenStudio	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Temperaturas e humidades relativas para vários tipos de atividades, adaptado de GHC BULLETIN, (2000) [17]:	11
Tabela 2.2 - Temperaturas da água para vários tipos de atividades, adaptado de GHC BULLETIN, (2000):	12
Tabela 2.3 – Factor de Atividade para vários tipos de atividades, adaptado de Engineering Reference (2016).....	16
Tabela 2.4 – Renovações de ar por tipo de espaço, adaptado de Engineering Reference (2016) ...	17
Tabela 3.1 – Características de materiais de construção, adaptado de ITE50 e BCL.....	25
Tabela 3.2 – Soluções construtivas do edifício.	26
Tabela 3.3 – Iluminação interior e exterior.....	27
Tabela 3.4 – Equipamentos elétricos.	28
Tabela 4.1 – Características das luminárias antigas vs novas.	33
Tabela 4.2 – Novas soluções construtivas.....	35
Tabela 4.3 – Características dos novos materiais.	35
Tabela 4.4– Orçamento das novas soluções construtivas.	36
Tabela 4.5 – Poupança anual com as novas soluções construtivas.	37
Tabela 4.6 – Quatificação energética do edifício em estudo, com e sem melhorias.	42

SIGLAS

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

EU – União Europeia

ENE - Estratégia Nacional para a Energia

SCE - Sistema de Certificação Energética de Edifícios

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço

HR – Humidade Relativa

U – Coeficiente de transmissão térmica

SEDAC - Smart Energy Design Assistance Center

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

OMS - Organização Mundial de Saúde

R/h – Renovações de ar por hora

HVAC -Heating, ventilation, and air conditioning

3D -Três dimensões

DOE - U.S. Department of Energy's

BCL - Building Component Library

UTA – Unidade de tratamento de ar

AVI - Audio Video Interleave

JPG - Joint Photographic Experts Group

PNG - Portable Network Graphics

AQS - Água quente sanitária

LED - Light Emitting Diode

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O crescimento da população a nível mundial tem sido exponencial, prevendo-se um aumento de dois bilhões de pessoas entre 2010 e 2040 e, conseqüentemente, um aumento na economia global de 130%. Este crescimento preocupa significativamente os responsáveis mundiais, pois, de acordo com os estudos realizados, a procura mundial de energia deverá aumentar perto de 35% [1].

O petróleo, o carvão e o gás natural são as fontes de energia mais utilizadas para saciar as necessidades da humanidade. Devido às elevadas exigências da população, estas fontes têm tido uma procura bastante acentuada e, sendo elas consideradas recursos naturais, prevê-se que as suas reservas estejam praticamente extintas em 2050 [2].

Tem-se assistido nas últimas décadas a um aumento demográfico e industrial a nível global, tendo estes fatores uma influência direta no crescimento exponencial do consumo energético. Com a evolução social e tecnológica, o ser humano revê-se cada vez mais como consumista de bens e serviços, isto para assegurar um nível de conforto elevado desde os transportes, habitação e equipamentos de lazer. Para satisfazer esses níveis de conforto verifica-se uma maior utilização de iluminação, equipamentos elétricos, equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado - AVAC, caldeiras de aquecimento e outros, o que faz com que as despesas energéticas sejam cada vez mais elevadas.

De modo a contrariar a dependência de combustíveis fósseis e o aumento da produção de gases que provocam o efeito de estufa, é essencial que a energia tenha novas proveniências que não as convencionais. O futuro do mercado mundial energético passa pela utilização das fontes de energias renováveis, através de processos que aproveitam os recursos naturais mais abundantes no planeta para a produção de energia. O vento, o sol, os rios, as marés e a energia geotérmica são as maiores fontes renováveis e inesgotáveis de energia. A eficiência energética em edifícios e equipamentos complementa, de certa forma, o tema das energias renováveis já que também contribui para a sustentabilidade energética mundial.

A União Europeia é o maior importador mundial e uma das características é a sua dependência energética em relação ao exterior. A União Europeia é a segunda maior economia mundial e consome um quinto da energia produzida. Mesmo sendo dependente de outros, a União Europeia possui algumas reservas energéticas, tais como, barragens, minas de carvão, centrais nucleares, campos de gás e, energias renováveis. É importante salientar que a dependência energética da União Europeia traz grandes consequências negativas para a economia [3].

Com a implementação de medidas de eficiência energética na redução do consumo de energia por parte da UE, esta prevê a criação de 2 milhões de postos de trabalhos até 2020. Por cada 24 mil milhões de euros investidos por ano em isolamento, gestão energética e sistemas de controlo obter-se-á uma redução de cerca de 38 mil milhões de euros na fatura energética da UE entre 2011 a 2020 [3].

Portugal tem apostado cada vez mais nas energias renováveis e isso deve-se à localização privilegiada do país. Como podemos observar na figura 1.1, graças ao aproveitamento de energia renovável, mais concretamente a energia hídrica, eólica e solar, o consumo de energia primária proveniente destas fontes aumentou 10% entre 2000 e 2012, diminuindo assim a dependência energética em Portugal. Importa salientar que este tipo de fontes de energia não são constantes, podendo haver oscilações na produção de energia, caso haja pouco vento ou seja um ano muito seco [4].

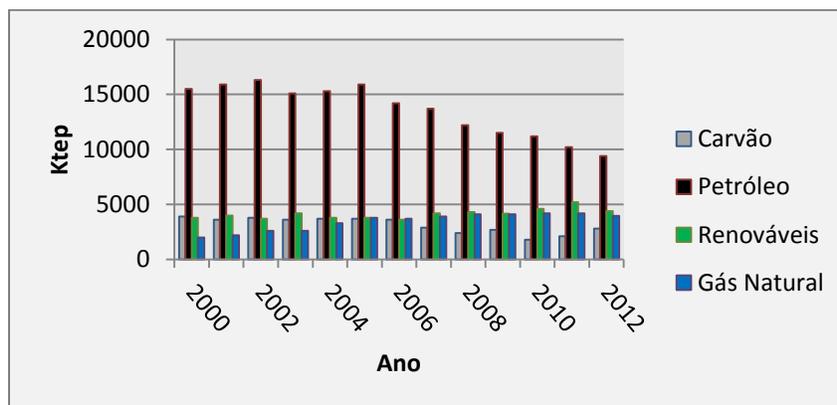


Fig.1.1 - Consumo de energia primária em Portugal de 2000 a 2012, adaptado de ADENE.

Para combater a elevada dependência energética e os desperdícios de energia, Portugal implementou uma Estratégia Nacional para a Energia (ENE). A Estratégia Nacional para a Energia, em vigor até 2020 conforme Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010 de 15 de Abril, tem como objetivo, entre outros, “reduzir em 25% o saldo importador energético, recorrendo à energia produzida a partir de fontes endógenas, gerando uma redução de importações de 2000 milhões de euros” [5]

A atual estratégia tem como principais objetivos a aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, para assim diminuir a dependência energética, reduzir as emissões de CO₂, aumentar a competitividade e o crescimento económico [5].

A estratégia assenta em cinco eixos fundamentais, definindo as linhas de orientação políticas e as medidas que devem ser tomadas para a energia. Os eixos são os seguintes [5]:

- 1º Eixo - Agenda para a Competitividade, Crescimento e Independência Energética e Financeira;
- 2º Eixo - Aposta nas Energias Renováveis;
- 3º Eixo - Promoção da Eficiência Energética;
- 4º Eixo - Garantia de Segurança de Abastecimento Energético;
- 5º Eixo - Promoção da Sustentabilidade da Estratégia.

Dos pontos anteriores o que tem mais ênfase para o estudo a realizar será o terceiro, promoção da eficiência energética. O objetivo prioritário é atingir uma redução de 20% no consumo de energia final até 2020, pelo que haverá uma aposta na otimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços.

Por todos os factos anteriormente apresentados podemos chegar à conclusão que a eficiência energética desempenha um papel fundamental no caminho para atingir as metas definidas na Estratégia Nacional para a Energia. A implementação desta estratégia passa pela classificação energética de edifícios de acordo com leis já definidas, para que estes sejam o mais eficientes e sustentáveis possíveis.

Um dos setores que mais energia consome à escala global é o dos edifícios, desde comércios e serviços, a habitacionais. A redução de consumos neste setor é da maior relevância para um futuro sustentável do nosso planeta e, para tal, é necessário que sejam implementadas medidas práticas de forma a atingir esse fim.

1.2. Objetivos

O edifício em estudo tem as características ideais para a realização de um estudo desta natureza, visto apresentar consumos elevados sendo a sua utilização apenas sazonal.

Na sequência do problema acima referido surgiu a inspiração para a escolha deste estudo. Sendo as piscinas interiores edifícios com necessidades energéticas superiores à maioria, foi lógico e da maior pertinência eleger um edifício com estas características visto que pequenas medidas podem provocar grandes poupanças energéticas e, consequentemente, ter impacto no ambiente e economia.

Depois de selecionado o tema escolheu-se o caso concreto de estudo, sendo que a preferência recaiu sobre as piscinas municipais de Vila Nova de Foz Côa, visto existir maior facilidade para a recolha de dados. Outro aspeto importante é a idade de construção do edifício (1990); um edifício com três décadas permitir-nos-á demonstrar de forma mais notória poupanças de energia com as alterações a propor.

Assim, os objetivos principais deste estudo são o estudo do consumo de energia do edifício, bem como a promoção de medidas de eficiência energética através de novas soluções construtivas, da substituição de equipamento e a promoção de novos comportamentos. De modo a atingir esses objetivos será feita uma revisão bibliográfica acerca dos assuntos em questão, seguido da escolha das medidas de eficiência energética a aplicar no projeto. Pretende-se no final retirar as devidas conclusões no que diz respeito à viabilidade das soluções encontradas e seus períodos de retorno financeiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Eficiência energética

A população mundial registou um crescimento tão acentuado que a reposição dos recursos naturais não o consegue acompanhar. Como seres conscientes, é nosso dever cívico e social aderir à preservação destes recursos, consumindo de forma responsável, moderna e sem desperdícios. De modo a haver um equilíbrio e um futuro sustentável no nosso planeta urge que a eficiência energética assuma um papel cada vez mais relevante na obtenção dessa harmonia.

O termo eficiência energética é hoje em dia utilizado não só no campo das engenharias mas também em outros, como política, economia e alterações climáticas. Isto reflete a sua importância, suscitando o interesse de várias áreas do conhecimento e do saber da atualidade.

A eficiência energética pode ser caracterizada como a redução do consumo de energia, mantendo, e até melhorando, a qualidade e o conforto térmico. Neste contexto, é mais usual associar a eficiência energética a produtos (frigoríficos, máquinas de lavar loiça, roupa, etc.) ou sistemas mecânicos (AVAC), com vista a melhorar o seu desempenho. Estes são comparados com equipamentos antigos e classificados energeticamente por uma etiqueta normalizada [6].

Para além da eficiência energética dos equipamentos e sistemas mecânicos, é fundamental avaliar a eficiência energética nos edifícios, não só nos mais recentes, mas também em edifícios existentes e sujeitos a remodelações. Assim sendo, surge o conceito de certificação energética de edifícios, que é constituído pela informação do desempenho energético do edifício [7].

2.2. Legislação

A União Europeia tendo assumido o compromisso de cumprir as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto, e com o sector dos edifícios a ser responsável por 40% do consumo de energia final na Europa, tem de tomar medidas de eficiência energética que permitam atingir esses objetivos, uma vez que a sua implementação pode reduzir em 50% estes consumos. Pelo motivo referido anteriormente, a União Europeia tem promovido de forma legislativa a eficiência energética em edifícios, tendo como principais objetivos o desempenho energético e as condições de conforto no seu interior.

Tendo a problemática acima referida em agenda, em 16 de Dezembro 2002, a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, respeitante ao desempenho energético dos edifícios, estabelecendo que todos os Estados-Membros implementem um sistema de certificação energética nos edifícios [23]. Por consequência, a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho foi transposta para a legislação nacional dando origem ao Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, do Decreto-lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, e do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios [8], [9] e [10].

A Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, referida anteriormente, foi reformulada e complementada pela Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, referente ao desempenho energético dos edifícios. Com esta reestruturação e complementação a Diretiva que possuía algumas inconsistências ficou mais completa e clara, permitindo mais facilmente aos estados membros da EU atingirem as metas acordadas para 2020[11].

De forma a haver uma maior clarificação do sistema de certificação energético e como consequência da implementação da nova Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, Portugal através da entrada em vigor a 1 de Dezembro de 2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, adota-se o novo Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), que incorpora em si o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS) e o Regulamento

de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), anulando os Decretos-Lei, n.º 79/2006 de 4 de Abril, n.º 80/2006 de 4 de Abril e n.º 78/2006, de 4 de Abril [12].

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, os edifícios quer sejam de habitação ou de comércio e serviço, no artigo 3º, são incluídos pelo SCE [12]:

- Os edifícios ou frações, novos ou sujeitos a grande intervenção;
- Os edifícios ou frações existentes de comércio e serviço:
 - Com área útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
 - Que sejam propriedade pública e explorados por uma entidade pública, quando visitados pela população e com uma área interior de pavimento ocupada superior a 500 m² e, a partir de 1 de Julho de 2015, superior a 250 m².
- Todos os edifícios ou frações a partir da sua venda ou arrendamento posterior a 1 de Dezembro de 2013, salvo nos casos de:
 - Venda de edifícios ou frações que já estejam em processo executivo;
 - Arrendamento a quem seja já inquilino do edifício;
 - Arrendamento do lugar de residência habitual do senhorio por prazo inferior a quatro meses.

Os princípios fundamentais para o cálculo do desempenho energético dos edifícios de habitação são o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas implementados. Já nos edifícios de comércio e serviços não são apenas os fatores anteriores que têm relevância mas sim a instalação, condução e manutenção dos sistemas técnicos.

Para cada um desses princípios existem vários requisitos que serão avaliados pelas entidades competentes de acordo com o tipo de edifício, sendo novo, sujeito a grandes intervenções ou existente.

2.3. Eficiência energética em piscinas interiores

Os complexos desportivos com piscinas interiores são diferentes de qualquer outro tipo de edifício; pois estes contêm grandes volumes de água que tem de ser filtrada, tratada e ainda aquecida/reaquecida. Num ambiente com níveis de humidade tão elevados o edifício requer uma ventilação apropriada de modo a evitar a deterioração dos materiais que o compõe. Como consequência, os consumos energéticos por unidade de área destes edifícios são bastante mais elevados do que qualquer outro. Devido às características especiais deste tipo de edifícios, os seus projetistas e o seu staff de operação têm de ter um maior cuidado de forma a promover a eficiência energética.

As necessidades energéticas de uma piscina interior não são proporcionais aos seus custos. Para tal, a figura 2.1 expõe as parcelas em que se divide o consumo geral de energia e o seu custo:

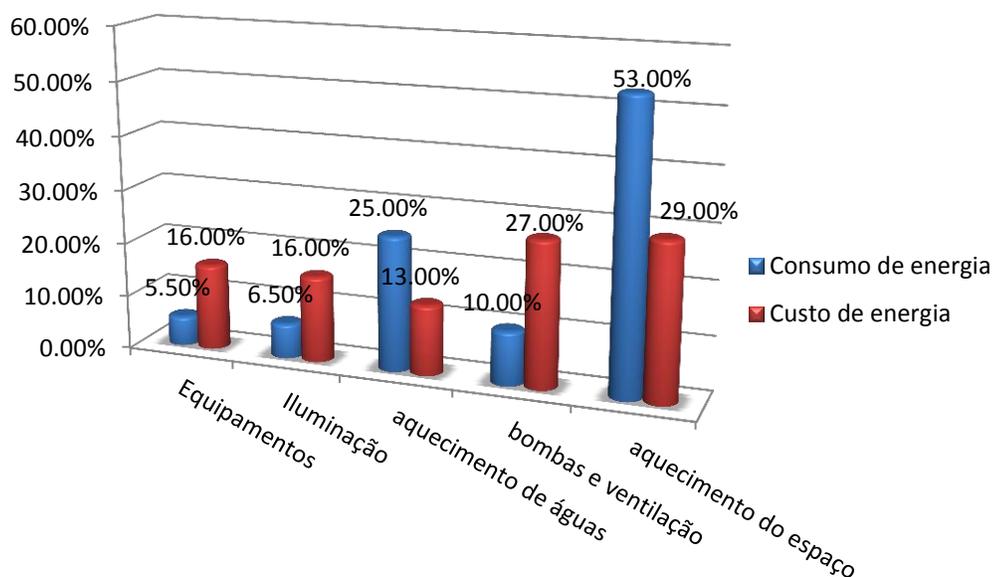


Fig. 2.1 - Relação entre o consumo de energia e o seu custo final, adaptado de DETREE 2013.

Com base na observação da figura anterior, constata-se que os consumos de energia e o custo de operação destes complexos não são diretamente proporcionais. Exemplo disso é o facto de o aquecimento do espaço consumir 53% de energia mas o seu custo real ser de 29%, verifica-se a mesma tendência no que diz respeito ao aquecimento de águas, isto porque o calor produzido nestes sistemas de aquecimento são normalmente abastecidos a gás natural ou semelhante. Por sua vez, todos os equipamentos que dependem exclusivamente de energia elétrica veem os seus custos percentuais serem maiores do que os seus consumos percentuais, isto deve-se ao facto do preço da energia elétrica ser bastante mais elevado do que o do gás natural.

A eficiência de um edifício de piscinas interiores segundo o Guia da DETREE 2013 pode ser classificado em três níveis, para tal tem de se saber qual o seu consumo de energia em kWh/m². As classificações são obtidas de acordo com a figura seguinte:

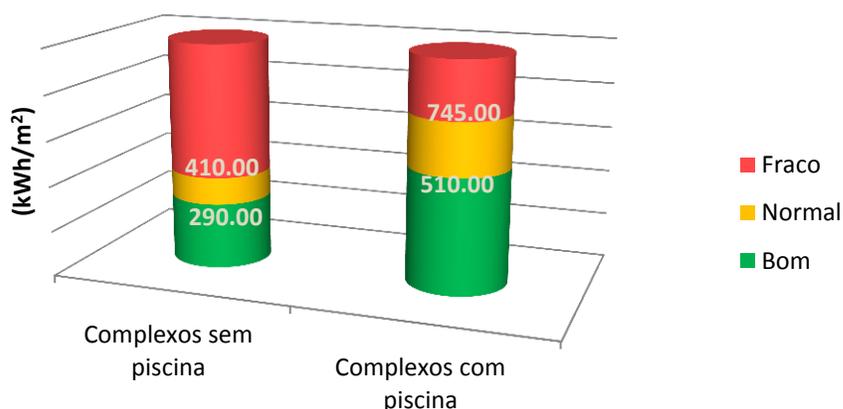


Fig. 2.2 - Representação da diferença entre o que é considerado eficiência em complexos desportivos com e sem piscina, adaptado de DETREE 2013.

Sendo os consumos dos complexos com piscina muito maiores devido às suas características e necessidades energéticas, não é de admirar que o valor para que tenham uma boa eficiência energética acompanhe esse aumento, tendo estes uma margem de modo a se manter dentro dos parâmetros duas vezes superiores a complexos sem piscinas.

2.3.1 Envolvente do edifício

Por causa do ambiente interior especial deste tipo de instalações, o edifício deve cumprir requisitos especiais. A principal questão é a perda de calor através de paredes, janelas e cobertura devido à grande diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior e a elevada humidade interior. A condensação é outro grande problema que ocorre em superfícies a uma temperatura abaixo do ponto de orvalho. As paredes, janelas e cobertura devem ser concebidas para evitar condições inferiores a esta temperatura, mesmo nos dias mais frios do ano [13]. As paredes devem ser tão diatérmicas e vaporizadas quanto possível no interior para que deixem passar o calor sem aquecer e resistam à passagem de vapor. Por outro lado, no exterior, os critérios devem ser os opostos. A construção deve ser projetada com um U para minimizar a perda de calor e evitar a condensação. Para uma temperatura exterior de -20°C e uma temperatura interior de 30°C a 65% de HR, o valor de U deve ser tão baixo quanto $0,75\text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ para evitar que ocorra condensação [14]. Alcançar esse valor é facilmente exequível para as paredes, no entanto, janelas, portas e pontes térmicas representam um desafio. Tradicionalmente, a solução adotada em piscinas tem sido a introdução de ar no pavimento a um nível abaixo das janelas, de forma a criar uma cortina de ar quente e seco e evitar o ar húmido, sendo este retido em zonas frias, como o peitoril ou as juntas entre o pavimento e a parede. Especial atenção também deve ser dada às pontes térmicas [13].

As perdas pela envolvente segundo um artigo de Smart Energy Design Assistance Center (SEDAC) intitulado “Energy Smart Tips For swimming Pools ” (2011), são representadas pela figura 2.3:

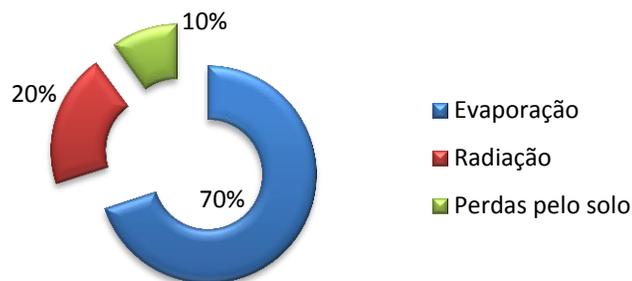


Fig. 2.3 - Perdas de energia num complexo com piscinas interiores, adaptado de [18].

2.3.2 Ambiente interior

Em comparação com edifícios de escritórios ou residenciais, as instalações em questão têm um ambiente interior especial e de características únicas. O conforto dos visitantes é influenciado principalmente pela temperatura da água, temperatura do ar, humidade e velocidade do ar. Tipicamente, a temperatura da água está na faixa dos 27 °C, a temperatura do ar é de aproximadamente 30 °C e a humidade relativa (HR) estará no intervalo entre 55% e 60% [13].

As variações na evaporação das superfícies húmidas são o principal contributo para que haja mudanças climáticas no ambiente interior. Essas variações são causadas pela atividade dos visitantes (por exemplo, ondas, salpicos da piscinas, pisos húmidos e corpos húmidos) e estão sujeitas a variações substanciais durante o dia. Medidas para manter a humidade constante incluem desumidificação pelo uso de dispositivos de recuperação de energia ou entrada de ar fresco. A qualidade do ar também é fortemente afetada por subprodutos de cloro provenientes da água da piscina. Além de ser necessidade humana básica, o ar fresco representa um parâmetro de dimensionamento adicional para diluir os subprodutos de cloro. A combinação de temperatura e humidade cria uma alta pressão de vapor, e o invólucro do edifício é exposto em conformidade. A combinação de uma alta resistência à pressão de vapor e boas medidas de desumidificação é obrigatória para manter um edifício saudável. Assim, o uso de energia do edifício depende do correto dimensionamento do sistema de AVAC e materiais da envolvente de construção [15].

Na tabela 2.1 são apresentadas as temperaturas e humidades relativas para vários tipos de atividades:

Tabela 2.1 - Temperaturas e humidades relativas para vários tipos de atividades, adaptado de GHC BULLETIN, (2000) [17]:

Tipo de actividade	Temperatura do ar (°C)	Humidade relativa (%)
Recreativa e lazer	$24 \leq T \leq 29$	$50 \leq HR \leq 60$
Terapêutico	$27 \leq T \leq 29$	$50 \leq HR \leq 60$
Competição	$26 \leq T \leq 29$	$50 \leq HR \leq 60$
Mergulho	$27 \leq T \leq 29$	$50 \leq HR \leq 60$
SPA	$27 \leq T \leq 29$	$50 \leq HR \leq 60$

Segundo ASHRAE (1999b), o ser humano é muito sensível à humidade, sendo a sua zona de conforto compreendida entre os 40% e os 60%. Valores fora deste intervalo podem conduzir a um aumento no nível de bactérias, vírus, fungos e outros fatores que reduzem a qualidade do ar. Para piscinas interiores, os utentes sentem-se mais confortáveis com humidades relativas entre 50% e 60%. Valores de humidade relativa superiores aos apresentados são destrutivos para a própria integridade da construção, podendo ainda provocar bolores nas paredes, pavimento e cobertura. Antecipando o pior cenário possível, a cobertura pode colapsar devido à corrosão provocada pela condensação de água na estrutura do edifício [17].

O aquecimento do espaço é geralmente fornecido pelo sistema de ventilação que promove a ventilação a partir do pavimento, passando em seguida pelas janelas, uma ação essencial para evitar a condensação, que pode ocorrer facilmente devido à maior condutividade térmica do vidro. Evitar a condensação é ainda mais importante em países frios, como a Noruega, onde a diferença entre as temperaturas interna e externa podem ser superiores a 50 ° C [15].

2.3.3 Aquecimento e qualidade da água

A temperatura ótima de funcionamento de uma piscina interior pode variar de acordo com diferentes fatores, como o tipo de piscina (competição, lazer, ensino, mergulho), o tipo de atividade dos utilizadores ou o número de ocupantes.

Sendo impraticável uma variação de temperatura em função das condições momentâneas de utilização, existem temperaturas recomendadas para diferentes tipos de atividade como nos mostra a tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Temperaturas da água para vários tipos de atividades, adaptado de GHC BULLETIN, (2000):

Tipo de actividade	Temperatura da água (°C)
Recreativa e lazer	$24 \leq T \leq 29$
Terapêutico	$29 \leq T \leq 35$
Competição	$24 \leq T \leq 28$
Mergulho	$27 \leq T \leq 32$
SPA	$36 \leq T \leq 40$

Kampel et al. (2013) numa pesquisa denominada “Energy-use in Norwegian swimming halls” afirma que a água quente deve ser aquecida a partir da temperatura da rede de abastecimento de águas (4 °C a 10 °C) até atingir 70 °C para matar agentes patogénicos que possam existir, de forma a evitar doenças, como a legionella, mais conhecida pela doença dos legionários e a febre de Pontiac. Após o processo de aquecimento, a água é misturada com água da rede de abastecimento para atingir a temperatura desejada e distribuída para os pontos de consumo como chuveiros e torneiras no edifício. [16]

O mesmo estudo refere ainda que as diretrizes internacionais relativas à qualidade da água em piscinas interiores são determinadas por publicações da Organização Mundial de Saúde (OMS) e a norma DIN19643 (Treatment and disinfection of water used in bathing facilities, 1997), onde se enunciam as medidas mais importantes para reduzir a poluição da água:

- Higiene adequada dos visitantes, por exemplo, tomar banho com sabão antes de entrar na piscina;
- Substitua a quantidade recomendada de água de acordo com o número de visitantes;
- Operação adequada do sistema de tratamento de água da piscina;
- Manter a instalação da piscina e água da piscina limpa;

O cloro é amplamente utilizado para a desinfeção de águas em piscinas. Algumas instalações deste tipo utilizam água do mar como desinfetante, o que tem como desvantagem ser mais corrosiva para os materiais de construção, uma vez que inclui aproximadamente 3% a 4% de NaCl em comparação com 1% usado em piscinas onde o desinfetante utilizado é o cloro [16]. A água destes complexos é principalmente filtrada por filtros de areia que têm como objetivo remover partículas. Em algumas instalações mais recentes, além dos filtros de areia, são também usados carbono ativado e membranas.

O processo de filtração requer um certo fluxo de água e pressão, provido pelas bombas de circulação [16]

2.3.4 Balanço energético de piscinas interiores

De acordo com o manual Engineering Reference (2016) de *U.S. Department of Energy* as perdas de calor de piscinas interiores ocorrem por uma variedade de mecanismos. Transferência de calor sensível por convecção, perda de calor latente associada à evaporação e troca de calor radiante com o ambiente ocorrem na superfície da piscina. As perdas por condução ocorrem pelo fundo da piscina. Outros ganhos / perdas de calor estão associados ao sistema de aquecimento de água da piscina, ou à substituição da água evaporada.

O balanço energético da piscina interior estima os ganhos / perdas de calor que ocorrem devido a [19]:

- Convecção pela superfície da água da piscina;
- Evaporação através da superfície da água da piscina;
- Radiação pela superfície da água da piscina;
- Condução através do fundo da piscina;
- Reposição de água perdida;
- Rede de aquecimento de águas;
- Mudanças na temperatura da água da piscina;

2.3.4.1. Convecção

A convecção entre o plano de água da piscina e a zona envolvente acima é definida usando a seguinte equação:

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot (T_p - T_a)$$

$$h = 0.22 \cdot (T_p - T_a)^{1/3} \quad [1]$$

Onde:

Q_{conv} = Taxa de transferência de calor convectiva (W/m²)

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²·°C)

T_p = Temperatura da água na piscina (°C)

T_a = Temperatura do ar (°C)

Quando uma cobertura está presente, o fator de convecção da cobertura reduz proporcionalmente o coeficiente de transferência de calor. Por exemplo, se a piscina estiver coberta em metade da sua área e a cobertura da piscina reduzir a convecção em 50%, o coeficiente de transferência de calor convectivo é reduzido em 25% do valor calculado usando a equação [1] [19].

2.3.4.2. Evaporação

Existem cinco variáveis a ter em consideração, de modo a podermos calcular a taxa de evaporação:

- Área da superfície de água;
- Temperatura da água;
- Temperatura do ambiente interior;
- Humidade relativa do ambiente interior;
- Agitação da água e o Fator de Atividade;

$$\dot{m}_{evap} = 0.1 \cdot A \cdot AF \cdot (P_w - P_{dp}) \quad [2]$$

Onde:

m_{evap} = Taxa de evaporação de água (lb/h)

A = Área de superfície da água da piscina (ft²)

AF = Factor de actividade

P_w = pressão de vapor de saturação na superfície da água da piscina (in. Hg)

P_{dp} = Pressão de vapor parcial no ponto de condensação do ar ambiente (in. Hg) [19]

Tabela 2.3 – Factor de Atividade para vários tipos de atividades, adaptado de Engineering Reference (2016)

Tipo de actividade	Factor de Actividade (AF)
Recreativa e lazer	0.5
Terapêutico	0.65
Competição	0.65
Parque aquático	1.5 - 2.0
SPA	1.0

2.3.4.3. Caudal de circulação

O caudal das bombas circuladoras deverá fazer circular todo o volume de água da piscina em 6 a 8 horas, ou 3 ou 4 vezes em 24 horas. Em cada um destes ciclos deve ser acrescentado entre 1% a 2% de água, de forma a superar as perdas por evaporação e derrames. Aquando da necessidade de esvaziar e encher a piscina, as instalações devem possuir um circuito de bombagem complementar que permita completar a tarefa num intervalo entre 8 a 16 horas. É importante que este tipo de operações de manutenção seja efetuado fora do horário de pico, evitando custos acrescidos na fatura de eletricidade.

2.3.4.4. Conforto

As piscinas interiores são normalmente mantidas entre 50 e 60% de HR por dois motivos [19]:

- Os utilizadores que deixam a água sentem-se desconfortáveis com uma menor humidade relativa devido à evaporação da água do próprio corpo;
- É consideravelmente mais caro (e desnecessário) manter 40% de HR em vez de 50% de HR;

2.3.4.5. Circulação de ar

Na maioria das publicações aconselha a fazer-se um mínimo de 6 R/h, exceto quando existem nas mesmas instalações equipamentos de frio em utilização, por isso esta taxa de renovação não é adequada a todos os cenários. Quando existe desumidificação mecânica, os caudais de insuflação devem ser cuidadosamente calculados e mantidos para que não se deteriore as condições do ambiente interior[19]. Para diferentes espaços existem diferentes taxas de renovação de ar, listado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Renovações de ar por tipo de espaço, adaptado de Engineering Reference (2016)

Tipo de espaço	Renovações por hora (R/h)
Piscinas sem área de espectadores	4 < 6
Área de espectadores	6 < 8
Piscina de fisioterapia	4 < 6

3. CASO DE ESTUDO E METODOLOGIA

3.1 Metodologia

O objetivo deste capítulo destina-se a dar a conhecer os meios utilizados durante todo o processo de elaboração deste estudo.

A primeira abordagem passou por procurar as entidades competentes que poderiam contribuir com os projetos de construção, os consumos das instalações e os seus perfis de utilização e manutenção. Assim, procurou estabelecer-se contacto com a Câmara Municipal de Vila Nova de Foz Côa, mais especificamente com o gabinete dedicado ao desporto, que conseguiu disponibilizar os consumos e os perfis de utilização e manutenção, e ainda com o gabinete de obras públicas que facilitou os projetos de construção.

Para a execução deste modelo de simulação energético foi necessário escolher, entre várias opções, o software mais indicado para a obtenção de uma simulação o mais realista e completa possível. Depois de uma pesquisa exaustiva acerca dos prós e contras de vários programas de simulação energética, a escolha recaiu sobre a utilização de três softwares, **Sketchup® 2017** (*Trimble*), **Openstudio® 2.3.0**. (*Department of Energy's (DOE)*) e **Energyplus® 8.7.0** (*U.S. Department of Energy's (DOE)*), que se complementam, desempenhando cada um deles um papel fundamental para a obtenção dos resultados finais.

Obtida a documentação, um conhecimento mais aprofundado acerca de vários aspetos de funcionamento do complexo de piscinas daquela localidade e os softwares a utilizar, iniciou-se a construção de um modelo energético.

A geometria do edifício foi o primeiro passo, utilizando o software SketchUp® 2017. A partir das plantas disponibilizadas foi elaborado um modelo 3D, que foi exportado para o software OpenStudio® 2.2.0, que permitiu inserir os dados relativos a soluções construtivas, cargas térmicas e perfis de utilização, entre outras características do edifício. O software EnergyPlus® 8.7.0 importou por sua vez o modelo OpenStudio, acrescentando-lhe a piscina e todas as características inerentes, bem como o sistema de AVAC e aquecimento de águas.

Os resultados finais da simulação foram obtidos através de Energyplus, onde se validou a simulação, comparando-a com os comportamentos reais. Por fim, após fazer melhorias estruturais e de comportamentos no modelo, estudou-se a sua viabilidade energética e económica.

3.1.1 Softwares de simulação

Sendo a essência deste estudo fazer uma simulação energética, é de toda a pertinência apresentar os programas que o permitiram.

O software SketchUp é um produto desenvolvido pelo grupo Google, de fácil utilização e extremamente versátil. Qualquer atividade profissional que necessite de modelação geométrica 3D pode optar por este produto, sendo que é maioritariamente utilizado por arquitetos, designers, engenheiros civis, engenheiros mecânicos e desenhadores. A principal função deste programa é, como o próprio nome indica, fazer esboços, eliminando assim a necessidade de fazer dispendiosas e demoradas maquetes. Os modelos criados neste programa têm a capacidade de se transformarem em vídeos (AVI) ou imagens (JPG,PNG) de qualquer ponto de vista, dando ao utilizador visão 360° do objeto em que está a trabalhar. No modelo em estudo, a maior virtude deste software foi possuir uma extensão que permitiu a exportação deste ficheiro para o programa OpenStudio.

O OpenStudio é, por sua vez, um interface gráfico que nos permite adicionar ao modelo as soluções construtivas, cargas térmicas, perfis de utilização e sistemas HVAC. Possui uma biblioteca livre e comunitária onde se partilham modelos que podem ser utilizados por todos os seus utilizadores, sendo que tanto este como todos os softwares que são desenvolvidos pelo U.S. Department of Energy's são completamente gratuitos. Neste estudo o software facilitou a tarefa no momento de inserção dos atributos no modelo.

O OpenStudio tem a capacidade de converter os seus ficheiros para EnergyPlus, sendo segundo U.S. Department of Energy's, um programa muito completo de simulação de energia em edifícios que engenheiros, arquitetos e investigadores usam para modelar o consumo de energia (aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação entre outros processos) e consumo de água em edifícios.

Alguns dos recursos e capacidades notáveis do EnergyPlus são:

- Integração simultânea entre as condições térmicas das zonas e o sistema de AVAC;
- Balanço térmico do efeito da radiação e condutividade nas superfícies, cálculos de condensação e conforto térmico;
- Intervalos de simulação pequenos, fazendo com que os resultados sejam o mais precisos possível;
- Combina transferência de calor e de massa entre zonas térmicas;
- Modelos avançados de dispositivos de oclusão;
- Cálculo de iluminação e claridade gerando um relatório acerca do conforto visual e de controlo da iluminação;
- Modelos de sistemas de AVAC atualizados;
- Possibilidade de múltiplas combinações em sistemas de AVAC e controlo de iluminação;
- Possibilidade de importar e exportar os seus ficheiros para diferentes programas e formatos;
- Relatórios detalhados e escolhidos especificamente pelos utilizadores.

O EnergyPlus é um programa que lê a entrada e grava a saída em arquivos de texto. É ainda fornecido com uma série de ferramentas, incluindo *IDF-Editor* para criar arquivos de entrada usando uma interface de planilha simples, *EP-Launch* para organizar arquivos de entrada e saída, ainda executar simulações por lotes, e *EP-Compare* para comparar graficamente os resultados de duas ou mais simulações.



Fig. 3 – Imagem de marca dos softwares utilizados.

3.1.2 Apresentação do edifício

O edifício escolhido para a elaboração deste estudo foi as piscinas cobertas do município de Vila Nova de Foz Côa. Localizado no centro da cidade e circundado por um complexo educativo que delas muito usufruem, visto que é utilizada para as aulas de natação de todos os ciclos de estudo, é considerada ideal a sua posição, tendo a oeste a escola do 1º ciclo e a este a escola do 2º, 3º ciclos e Secundário. As escolas estão interligadas para que não seja necessária a saída dos alunos para a via pública, sendo assim salvaguardada a sua segurança.

No que diz respeito à envolvente, o edifício localiza-se num planalto com vegetação rasteira e sem edifícios nas proximidades que possam criar sombras, e assim influenciar o modelo de simulação. As coordenadas geográficas do edifício em questão são $41^{\circ} 4'51.37''N$, $7^{\circ} 8'47.75''W$, fazendo o seu eixo maior 60° com Norte. A figura seguinte demonstra, através de uma vista satélite adaptada de GoogleEarth®, o edifício em questão circundado a amarelo e as escolas a azul:

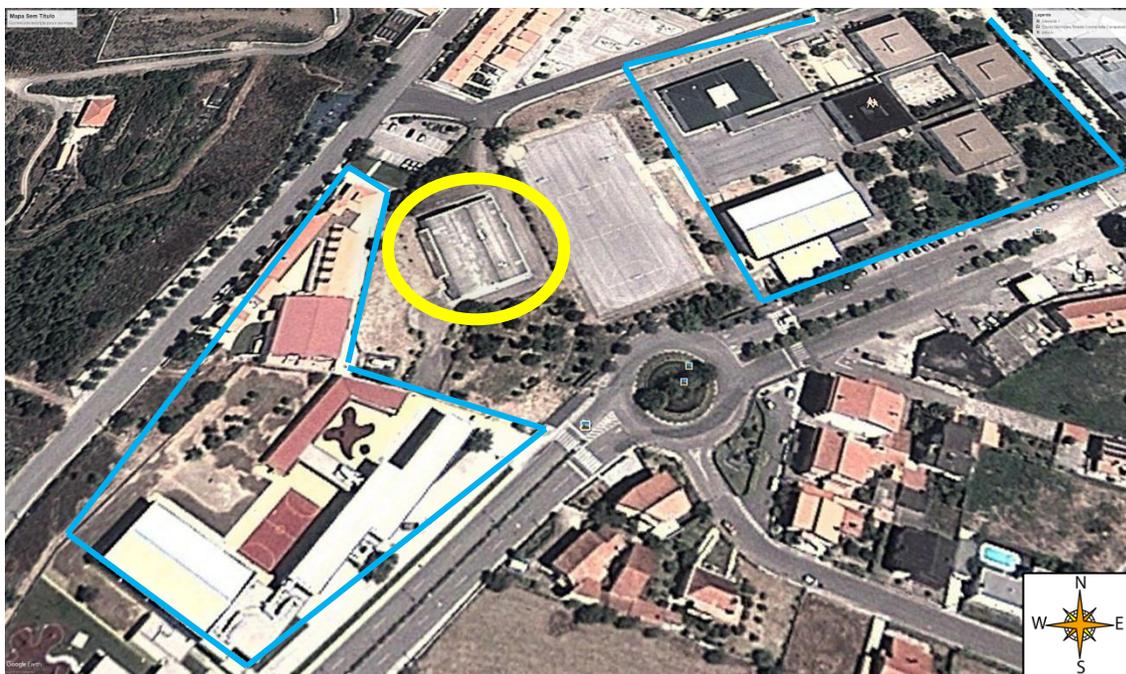


Fig. 3.1 - Vista satélite sobre o edifício em estudo, adaptada de GoogleEarth®.

3.2.1 Modelo geométrico

A partir das plantas arquitetônicas fornecidas pelo gabinete de obras públicas da Câmara Municipal de Vila Nova de Foz Côa, e através de visitas ao local, considerou-se adequado dividir o edifício em nove zonas térmicas diferentes, sendo que apenas cinco delas possuem sistemas de AVAC. As zonas climatizadas são a nave da piscina, sala de espectadores, balneário feminino, recepção e balneário masculino. A sala da sauna, sala das máquinas, cobertura dos balneários e cobertura da nave são zonas que não possuem qualquer tipo de climatização, visto que a sua ocupação diária pode ser considerada nula ou inexistente. A geometria do edifício foi criada pelo software SketchUp®, elaborando-se através das plantas um modelo 3D do caso de estudo:



Fig. 3.2 - Fotografia real vs. modelo de simulação (vista Norte e Este)



Fig. 3.3 - Fotografia real vs modelo de simulação (vista Sul e Oeste)

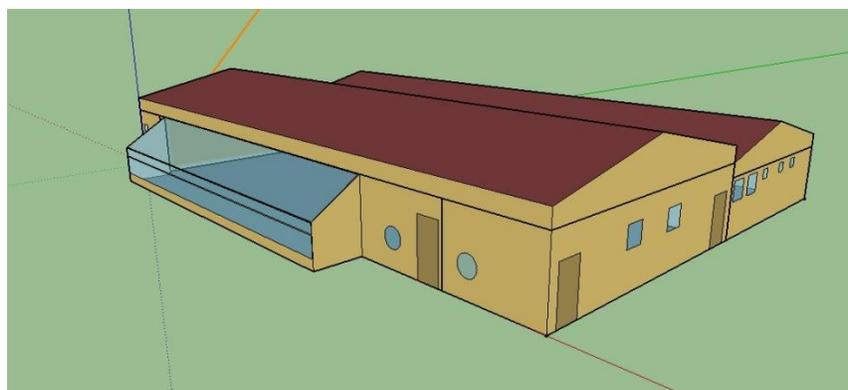


Fig. 3.4 - Vista aérea de sul do modelo

A semicúpula da estufa no modelo foi simplificada passando a ter uma forma plana, ficando com aproximadamente a mesma área de exposição, de modo a não afetar os cálculos de radiação e percas térmicas.

3.2.3 Materiais e soluções construtivas

Com a memória descritiva do edifício facultada pelos serviços da Câmara Municipal e, utilizando o ITE50 [22], da Ordem dos Engenheiros em conjunto com o BCL do OpenStudio®, foi possível criar as seguintes tabelas de materiais e soluções construtivas a implementar no modelo em estudo.

Tabela 3.1 – Características de materiais de construção, adaptado de ITE50 e BCL.

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m-K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg-K)
Mosaico	0.02	3.4	2000	800
Placa de betão	0.2	1.74	1280	840
Reboco	0.02	1.3	1800	880
Tecto falso de Alumínio	0.005	237	2700	900
Telha fibrocimento	0.015	0.65	1600	800
Tijolo 11	0.11	3.7	650	840
Tijolo 15	0.15	2.56	630	840
Resistência térmica (m²-K/W)				
Espaço de ar	0.03	0.18		
Factor de transmissão solar a uma incidência normal				
			Condutividade (W/m-K)	
Glass [262] BCL	0.003	0.710613		0.0349903
Glass [187] BCL	0.003	0.39034		0.0457755

Tabela 3.2 – Soluções construtivas do edifício.

Solução construtiva	Exterior				Interior
Janelas duplas	Glass [262] BCL				
Parede exterior	Reboco	Tijolo 15	Espaço de ar	Tijolo 11	Reboco
Parede interior	Reboco		Tijolo 11	Reboco	
Pavimento	Placa de betão			Mosaico	
Porta envidraçada	Glass [187] BCL				
Tecto falso	Tecto falso Alumínio				
Telhado	Telha fibrocimento				

3.2.4 Ocupação

Os níveis de ocupação deste edifício resultam de dois grupos distintos de pessoas: os utentes e os funcionários. Os funcionários no desempenho da sua função não estão num nível de atividade muito elevado, sendo que se considerou uma taxa de emissão de energia na ordem dos 90W. Os utentes estão mais ativos e, por isso, considera-se a libertação de 120W de energia. Em ambos os casos 30% desta energia é libertada sobre a forma de calor latente e o restante como calor sensível. A piscina está dimensionada para uma ocupação máxima de 30 pessoas e 4 funcionários. Em seguida, na figura 3.6 pode observar-se, sob forma de fração, os perfis de ocupação dos funcionários e dos utentes durante a semana, excetuando Domingo em que o equipamento está encerrado.

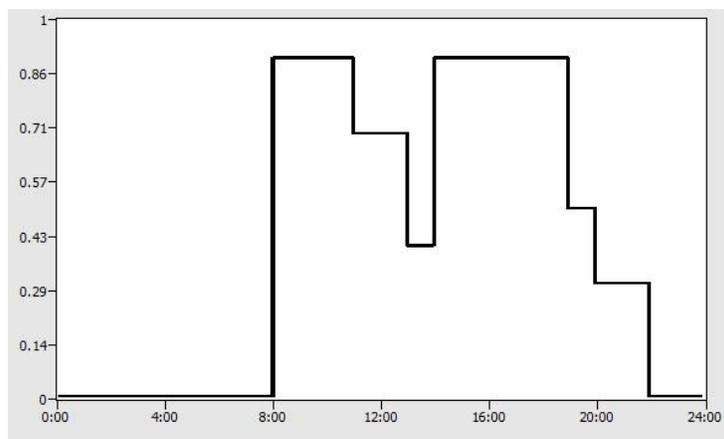


Fig. 3.6 - Perfil de ocupação funcionários e utentes, adaptado de OpenStudio®.

Como se pode observar na figura 3.6, o perfil de ocupação é nulo das 22:00h até às 8:00h. A partir dessa hora a piscina chega quase ao máximo da sua capacidade até à hora do almoço, em que se vê um decréscimo acentuado na utilização do equipamento. Logo após o almoço e até ao final da tarde, verifica-se uma ocupação a rondar os 90%.

Os períodos de maior afluência resultam do horário letivo em que as escolas usufruem do equipamento. As horas de menos afluência são maioritariamente utilizadas para lazer pelos cidadãos.

3.2.5 Iluminação e equipamentos

No caso concreto do equipamento em estudo, apesar de estar bem dotado de janelas, portas envidraçadas, bem como de uma grande estufa que permite a entrada de luz no edifício, ainda assim é indispensável a utilização de iluminação visto que o período de utilização do equipamento é maioritariamente durante os meses de Inverno, com noites muito grandes e dias pequenos.

A tabela 3.3 demonstra a forma como a iluminação está distribuída pelo edifício e envolvente, sendo que existem apenas dois tipos de lâmpadas no edifício (LUMILUX Warm White 38W) e (HWL 160W), ou similar. Os perfis de utilização da iluminação e equipamentos estão disponíveis no Anexo A, que foram requisitados ao responsável técnico das instalações.

Tabela 3.3 – Iluminação interior e exterior.

Zona térmica	Quantidade	Potência (W)		Total/zona (W)
 Sala de espectadores	6	38	=	228
 Sala da sauna	5	38	=	190
 Balneário masculino	8	38	=	304
 Nave	10	38	=	2620
	14	160	=	
 Sala das máquinas	4	38	=	152
 Recepção	3	38	=	114
 Balneário feminino	8	38	=	304
 Iluminação exterior	8	160	=	1280

Tabela 3.4 – Equipamentos elétricos.

Zona térmica	Quantidade	Potência (W)	Descrição	Total/zona (W)
Sala da sauna	1	8000	Sauna	8000
Balneário masculino	1	2000	Secador de cabelo	2000
Recepção	1	70	TV	430
	2	180	Computador	
Balneário feminino	1	2000	Secador de cabelo	2000

3.2.6 Sistemas Técnicos

3.2.6.1 Aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água que abastece todo o edifício é representado pela figura 3.7, sendo os seus componentes de fornecimento uma caldeira de baixa pressão com uma potência nominal de 174.33 kW e 75% de rendimento, cujo combustível é gás propano armazenado num tanque a cerca de 30m de distância do edifício, uma bomba de caudal máximo de 6000 l/h e um termostato. No que diz respeito aos componentes de abastecimento do sistema, existe uma serpentina de água quente que promove o aquecimento na UTA e um ponto de entrega para aquecimento da água da piscina.

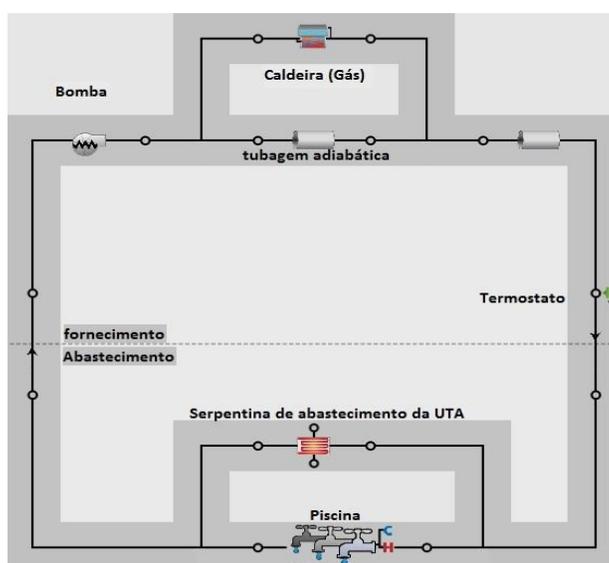


Fig. 3.7 – Representação esquemática no OpenStudio® do sistema de aquecimento de água

3.2.6.2 Sistema AVAC

Para manter as condições térmicas ideais de funcionamento do edifício o sistema AVAC é o elemento chave. O caso de estudo possui um destes sistemas representado pela figura 3.8, onde para aquecimento do ar é utilizada uma serpentina que provêm do sistema de água quente anteriormente descrito com 26.4kW de potência calorífica; para arrefecimento existe um equipamento de expansão direta (45.8kW), um ventilador (2.2kW) que movimenta o ar (9300m³/h) e conseqüentemente promove a transferência de calor entre os elementos fixos e o ar. O ar quente ou frio é distribuído pelo edifício por meio de condutas até às zonas a acondicionar, que neste caso são cinco. Com o caudal de ar novo máximo estipulado para 2600m³/h.

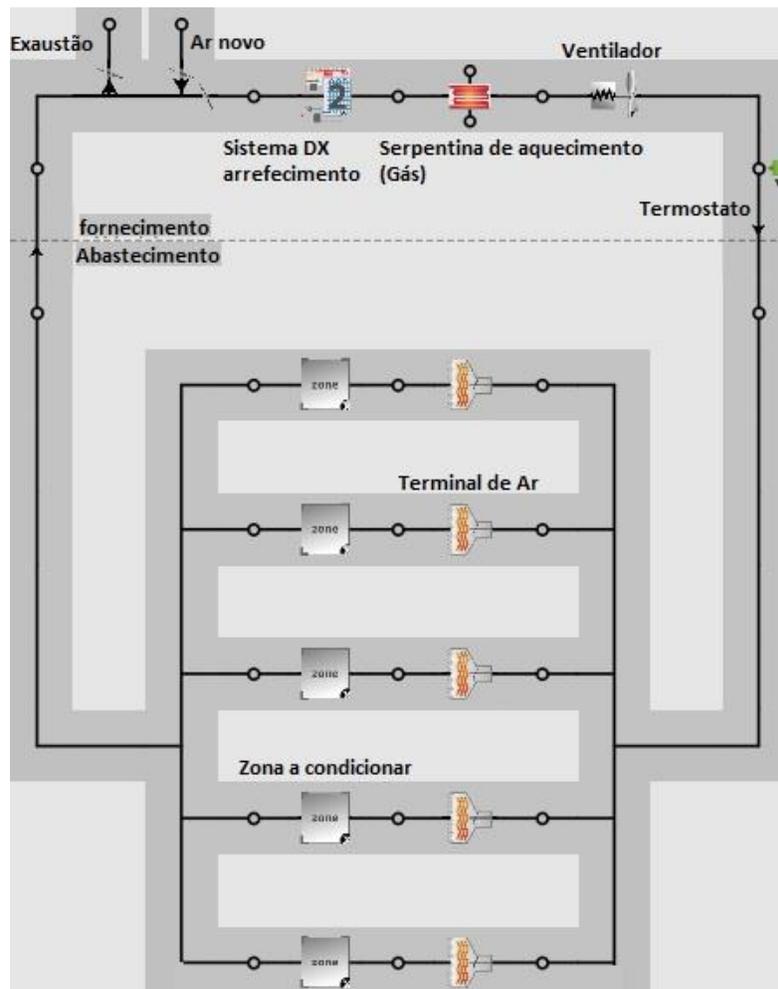


Fig. 3.8 - Representação esquemática no OpenStudio® do Sistema AVAC

3.2.6.3 Sistema de desumidificação

Na prática, o módulo de desumidificação encontra-se interligado com o sistema AVAC anteriormente exposto, mas na simulação optou-se por dividir em dois sistemas separados. Constituído por um sistema de expansão direta que promove a condensação da água (30kg/h) e conseqüente diminuição do valor de humidade no ar, um ventilador e um humidostato.

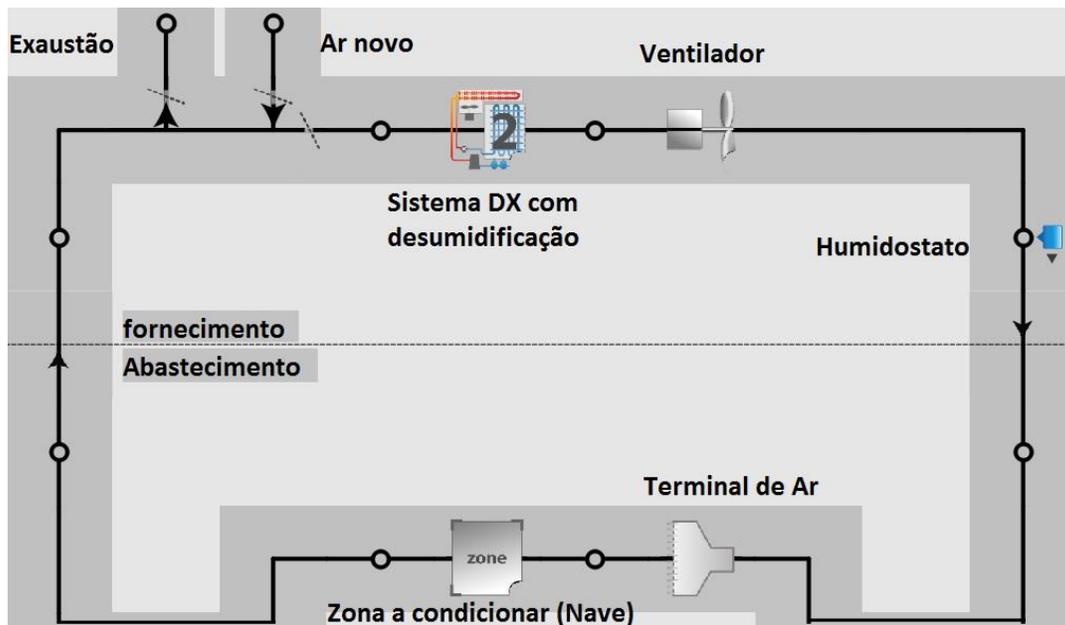


Fig. 3.9 - Representação esquemática no OpenStudio® do sistema de desumidificação

3.2.6.4 Piscina

Para efeitos de simulação considerou-se uma profundidade média da piscina de 110cm. A água do tanque deve ser mantida à temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, com a água de circulação e reposição a entrar na piscina à temperatura de 38°C com caudal de $1.66\text{m}^3/\text{s}$. O pano de cobertura pressupõe-se que seja utilizado das 22:00h até às 8:00h do dia seguinte, sendo que isto acontece apenas em 70% do total de dias de simulação, como demonstrado no anexo A, Fig.A.7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Validação do modelo de simulação

Para que os resultados obtidos com as medidas de melhoria a propor sejam o mais precisos possível é da maior pertinência que se faça uma validação do modelo energético, comparando os consumos simulados com os consumos reais fornecidos pelo proprietário das piscinas, o Município de Vila Nova de Foz Côa. As figuras seguintes mostram os consumos reais comparados com os obtidos na simulação energética:

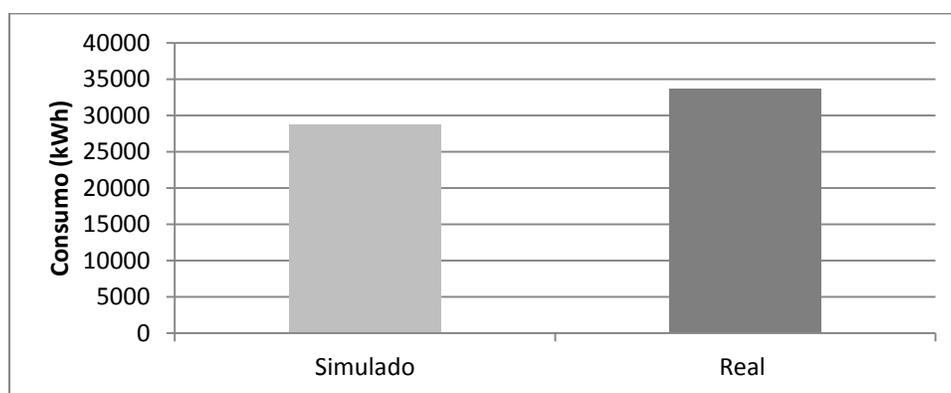


Fig. 4.1 – Consumo anual de electricidade real vs simulado.

O consumo de energia elétrica simulado é cerca de 15% inferior ao real. Isto pode-se dever ao facto de alguns componentes do sistema de ventilação e águas quentes não terem sido considerados. A iluminação interior, ventilação e equipamentos são os principais consumos de energia elétrica deste edifício, de acordo com os dados obtidos na simulação. Não é possível confirmar com valores reais uma vez que não existe uma auditoria energética com desagregação de consumos.

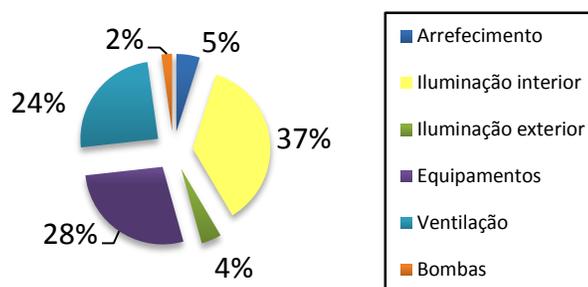


Fig. 4.2 – Distribuição dos consumos simulados por categorias.

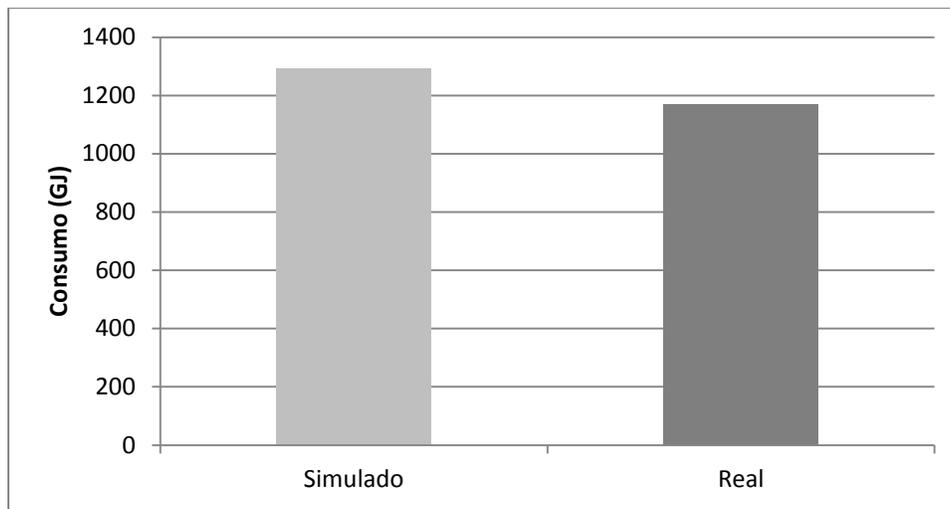


Fig. 4.3 – Consumo anual de gás propano real vs simulado

A caldeira que fornece água quente ao edifício é sem dúvida a sua maior consumidora de energia final, com mais de 90% do total de consumos. Este valor real corresponde ao consumo de gás propano e de pellets na proporção da figura 4.4: Na simulação toda a carga térmica fornecida ao edifício tem origem numa caldeira a gás, por motivos de simplificação do modelo.

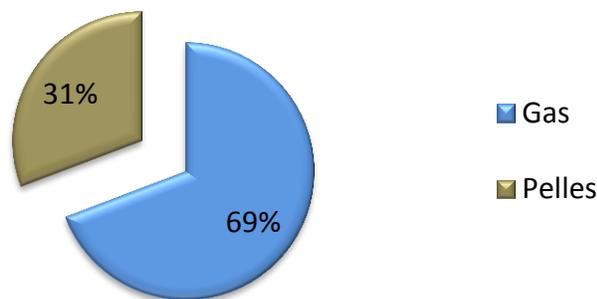


Fig. 4.4 – Proporção real entre gás e pellets para aquecimento de águas.

Com uma diferença de 10% no consumo de gás e 15% no consumo de eletricidade, entre o consumo simulado e o real, considerou-se este modelo energético apto para utilização com vista a efetuar alterações que levem a uma diminuição dos consumos, nunca esquecendo que os resultados apresentados não possuem essas correcções.

4.2. Implementação de medidas de eficiência energética

4.2.1 Nova iluminação

A iluminação interior e exterior representa 41% do consumo total de energia elétrica. Com uma quota tão elevada na fatura mensal pode-se considerar esta uma área a aperfeiçoar no que diz respeito à sua eficiência energética. A solução para este problema passa pela substituição das lâmpadas antigas por outras mais eficientes. Na tabela abaixo são apresentadas as soluções de substituição mais apropriadas sem que se percam características de iluminação, pelo contrário, há a possibilidade de melhorar esse aspeto:

Tabela 4.1 – Características das luminárias antigas vs novas.

Lâmpadas antigas			Lâmpadas novas				
Tipo de lâmpada	P (W)	Fluxo (lm)	Tipo de lâmpada	P (W)	Quantidade (uni)	Fluxo (lm)	Preço
LUMILUX Warm White 38W	38	3300	PHILIPS BN121C LED38S/840 PSU L1200	5.9	44	3800	91,29€
HWL 160W	160	3100	Corn E27 35W	35	22	3300	29,95€
						Total	4.675,66€

As lâmpadas novas têm um fluxo de luminosidade superior em 15% e 5% em relação às antigas, respetivamente, o que melhora a iluminação dos espaços. Isto é importante uma vez que quanto melhor a iluminação, menor a probabilidade de ocorrerem acidentes.

Para que seja possível fazer-se uma análise económica, foi feita uma pesquisa de preços, sendo estes verificados e confirmados como preços praticados no mercado português.

Após a fase de escolha das novas lâmpadas, foram inseridas as mudanças no modelo energético. As conclusões a que se chega são bastante interessantes e vantajosas para aplicação nas instalações. Considerando a iluminação interior e exterior, o consumo anual era de 42.15 GJ. Com a substituição das lâmpadas, sendo o perfil de utilização mantido, passou a ter um consumo anual de 8.67 GJ. Com um decréscimo no consumo na ordem dos 87%, a solução encontrada cumpriu o seu propósito. A poupança da instalação em eletricidade ascende a 1.816,54 €/ano, com um período de retorno financeiro do investimento efetuado na substituição das lâmpadas (4.675,66 €) em apenas dois anos e meio.

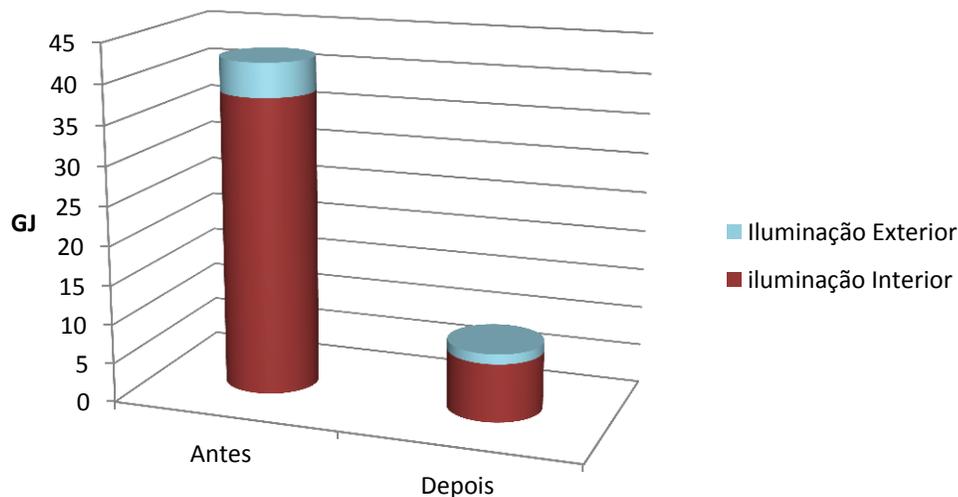


Fig. 4.5 – Consumo anual da iluminação antes vs depois das melhorias.

Apesar do investimento inicial ser um pouco elevado, a solução apresentada tem um período de retorno muito aceitável e as horas de vida útil destas lâmpadas são mais do dobro das implementadas atualmente. Seria uma boa medida de eficiência energética a implementar no edifício.

4.2.2 Novas soluções construtivas

O edifício em estudo tem como ano de construção 1991. Nessa época a eficiência energética e a utilização de materiais que a promovem não era prioridade para os projetistas nem para os donos de obra. Hoje em dia a situação é diferente, com a evolução dos materiais e a acentuada preocupação no que diz respeito a eficiência energética dos edifícios, a escolha adequada das soluções construtivas é parte integrante de qualquer novo projeto. Tem-se ainda denotado um grande aumento de reabilitações de edifícios antigos no nosso país, essa é a solução para que estes tenham um melhor desempenho energético.

Depois de analisado o caso em estudo, foram vários os aspetos construtivos que se destacaram pela negativa. Entre eles a falta de isolamento das paredes que possuem apenas caixa-de-ar, o teto-falso da nave é apenas uma “folha” de alumínio e o telhado de fibrocimento, para além de constituir um perigo para a saúde pública, não possui qualquer isolamento. A substituição ou acoplação de outros materiais será a solução para esta problemática. As tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 exibem as novas soluções construtivas e materiais do edifício, bem como o orçamento de reabilitação com o objetivo de obter uma diminuição nos consumos:

Tabela 4.2 – Novas soluções construtivas.

Nova Solução construtiva	Exterior	Interior
Parede exterior	Webber EPS 8cm	Parede exterior (Tab.3.2)
Teto falso	Painel de lã mineral 5cm	Tecto falso Alumínio (Tab.3.2)
Telhado	Painel sandwich 5cm	

Tabela 4.3 – Características dos novos materiais.

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m-K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg-K)
Webber EPS 8cm	0.08	0.034	22.5	1300
Painel lã mineral 5cm	0.05	0.036	20	1030
Painel sandwich 5cm	0.05	0.0212	120	1250

Tabela 4.4– Orçamento das novas soluções construtivas.

Material	Área de aplicação	Preço €/m ²	Total €
Webber EPS 8cm	304.20m ²	8.10€	2.464,62€
Painel lã mineral 5cm	348.30m ²	8.69€	3.026,72€
Painel sandwich 5cm	821.50m ²	14.45€	11.870,67€
Mão-de-obra			8.000,00€
TOTAL			25.362,01€

Depois de atribuídos os novos materiais e definidas as novas soluções construtivas, apresentam-se os resultados obtidos através das figuras 4.6 e 4.7.

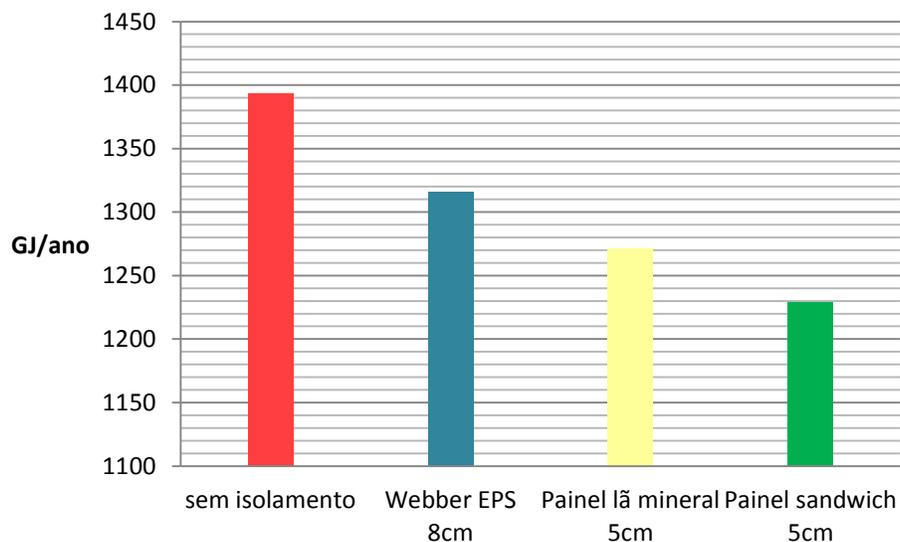


Fig. 4.6 – Consumo anual do edifício considerando cada solução de reabilitação energética apresentada.

Se tivéssemos de escolher apenas uma medida de melhoria em termos energéticos das três apresentadas, esta seria a substituição do telhado de fibrocimento por painéis de sandwich 5cm, que resulta numa diminuição do consumo de energia final na ordem dos 12%. Mas, por outro lado, seria a que tem um custo associado mais elevado. A poupança de energia associada a estas alterações reflete-se quase exclusivamente no

sistema de aquecimento a gás, 98,25%, sendo o restante correspondente a poupanças na ventilação e arrefecimento.

Com a renovação do telhado, paredes exteriores e teto falso consegue-se uma poupança energética total anual de 20,54% como se pode observar na figura 4.7. Com as novas soluções apresentadas estima-se uma poupança anual de 7.153,00€ por ano. Sendo o valor do orçamento para implementar as medidas de 25.362,01€, obtém-se um período de retorno financeiro de três anos e meio. Este período de retorno financeiro é bastante aliciante.

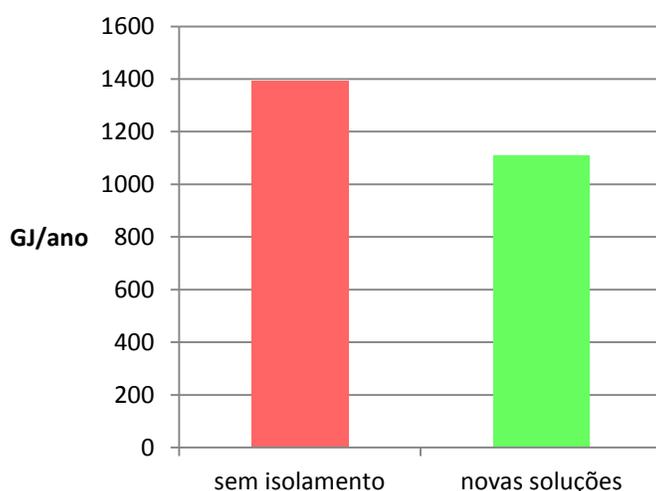


Fig. 4.7 – Consumo anual do edifício antigo vs utilizando as três novas soluções construtivas.

Tabela 4.5 – Poupança anual com as novas soluções construtivas.

Estado do edifício	Consumo de gás propano (Ton)	Preço €/Ton	Total €
Sem isolamento	28.65844	1.150,00€	32.947,50€
Novas soluções	22.43511		25.794.50 €
TOTAL poupança			7.153,00€

4.2.3 Mudança de comportamentos

Quando se fala em eficiência energética o primeiro pensamento leva-nos logo para os aspetos físicos dos edifícios como as suas soluções construtivas, equipamentos ou até as energias renováveis. Os fatores anteriores têm muita relevância nesta área, contudo, a alteração de comportamentos dos utilizadores dos edifícios pode desempenhar um papel fundamental no perfil de consumo de um edifício. Em complexos com piscinas interiores estes comportamentos são ainda mais importantes, visto que pequenas alterações podem significar grandes poupanças de energia, já que os seus consumos são bastante elevados.

Depois de uma análise ao funcionamento das instalações do caso de estudo, verificou-se que alguns comportamentos poderiam ser alterados de modo a se obter melhores prestações energéticas do edifício.

O perfil de utilização da cobertura do pano de água representado pela Fig. A.7 foi substituído pelo apresentado na Figura 4.8, onde o tracejado vermelho representa uma utilização integral da cobertura em todo o pano de água.

As alterações efectuadas em relação ao antigo perfil de utilização passa pela abertura do pano da piscina de manhã às 9h em vez das 8h, já que, apesar dos funcionários chegarem a essa hora, a piscina só vai ser utilizada uma hora mais tarde. Considerou-se também a cobertura do pano de água na hora de almoço, porque durante esse período a piscina não é utilizada. Por fim, considerou-se que este procedimento será adotado com dedicação, passando a ser adoptado em 100% do tempo e não em 70% como se estima atualmente.

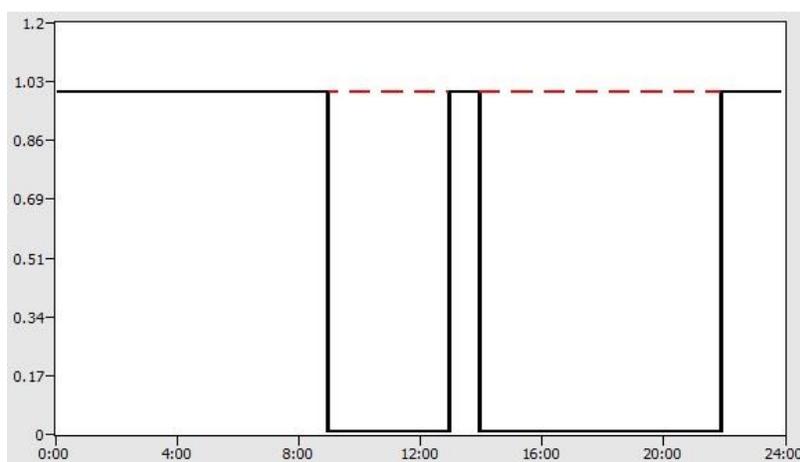


Fig. 4.8 – Novo perfil de utilização do pano de cobertura da piscina.

A alteração deste perfil de funcionamento é facilmente exequível pelos responsáveis do edifício, sendo que as poupanças que disso advêm passam pelo exposto nas figuras 4.9 e 4.10:

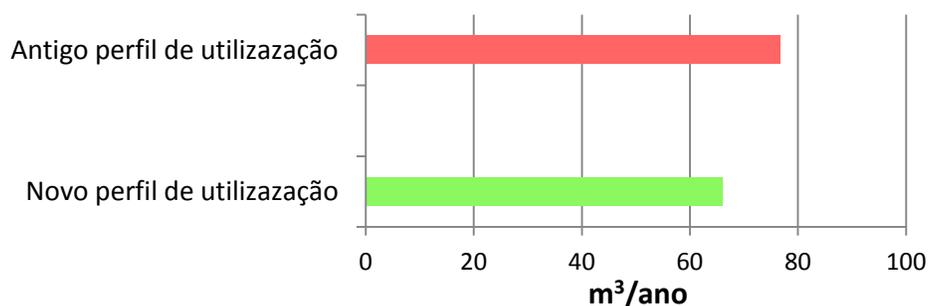


Fig. 4.9 – Comparação da reposição anual de água na piscina (evaporação).

Como resultado desta alteração, obteve-se uma diminuição 14,2% no seu consumo anual da água de reposição na piscina. Com esta diminuição no consumo não se atingem grandes valores monetários de poupança, contudo uma diminuição no consumo de água é sempre boa para um país que passa o Verão num clima de seca extrema. O sistema de aquecimento das instalações também foi afetado pela mudança efetuada no perfil de funcionamento da cobertura da piscina, como exposto na figura 4.10, diminuindo a energia consumida em 2,75%, cerca de 0.79 toneladas de gás propano, no valor de 908,50€.

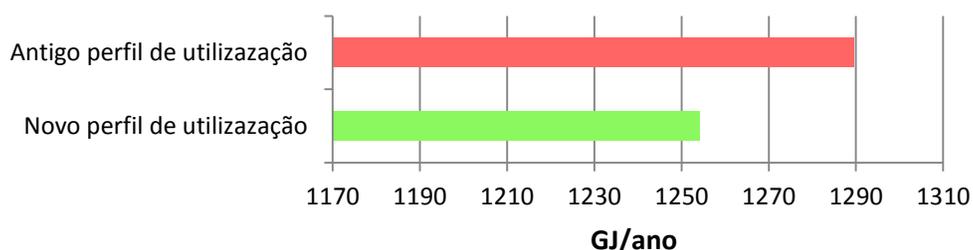


Fig. 4.10 – Comparação do consumo anual de Gás propano para aquecimento.

4.2.4 Alterações nas temperaturas do sistema HVAC

As condições de projeto são claras ao admitir uma variação de temperatura no sistema de aquecimento do edifício. A temperatura do ar para a zona da nave da piscina foi definida nos 26°C e todas as outras zonas climatizadas do edifício estão a 23°C, mas na memória descritiva do projeto considerou-se que se mantinham as condições ideais do ambiente interior se houvesse uma oscilação de 1°C, a mais ou a menos. Assim, foi alterado o setpoint de temperatura para 25°C na zona da nave da piscina e 22°C para as outras zonas, como os balneários e a receção. A diferença de consumos de energia com esta mudança de setpoints é dada pela figura 4.11:

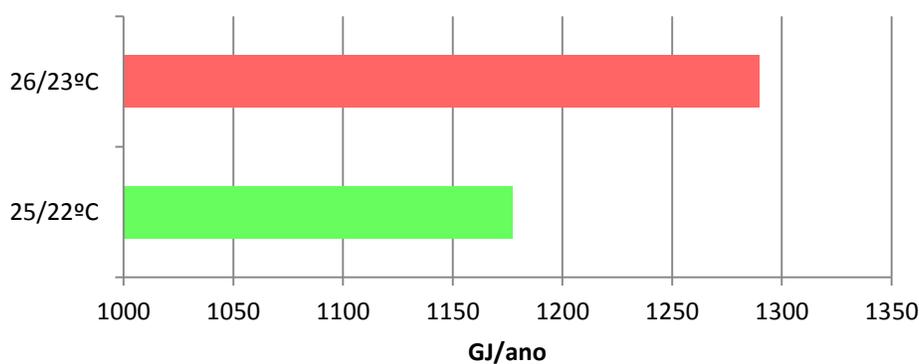


Fig. 4.11 – Comparação do consumo anual de Gás propano com a mudança de setpoint de temperatura.

Como se pode perceber pela fig. 4.11 uma pequena alteração de temperatura faz uma grande diferença no consumo anual do edifício. Conseguiu-se com esta alteração uma poupança de 122.55GJ anuais de energia, mais propriamente 2.72 toneladas de gás natural com um valor de 3.131,83€.

4.3 Eficiência do edifício após melhorias propostas

As propostas apresentadas na secção 4.2 são algumas das soluções encontradas para melhorar a eficiência energética do edifício. Com a implementação de todas estas medidas espera-se que o edifício obtenha uma melhor classificação quanto ao seu desempenho energético. Na figura 4.12 é apresentado o resultado da implementação de todas as medidas propostas, simuladas simultaneamente.

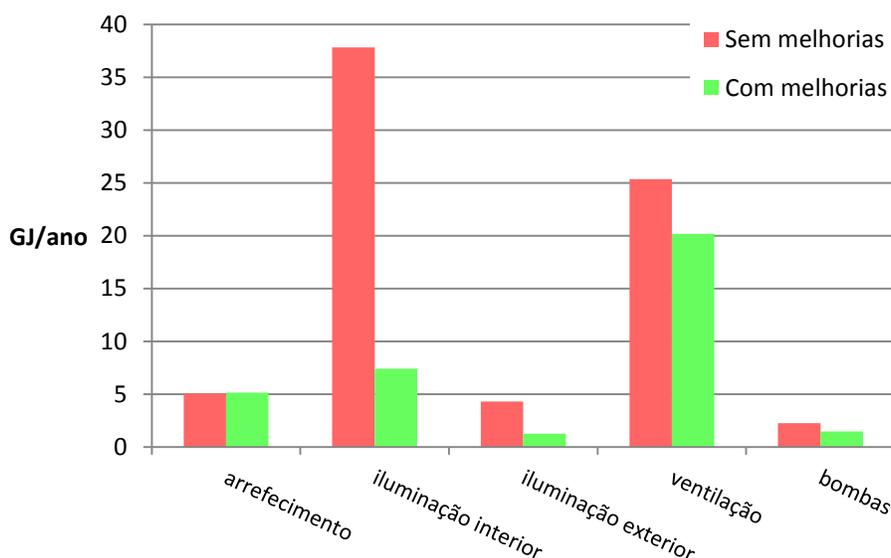


Fig. 4.12 – Comparação do consumo anual de eletricidade por uso final, antes e depois das medidas de melhoria estudadas.

O consumo com arrefecimento não obteria uma melhoria significativa para que fosse tomada em conta, sendo esta a única subcategoria que não alcançaria resultados a considerar com as alterações propostas. Pelo contrário, as melhorias implementadas na iluminação, ventilação e sistema de bombagem permitiriam uma redução no consumo de eletricidade do edifício de 38,09%.

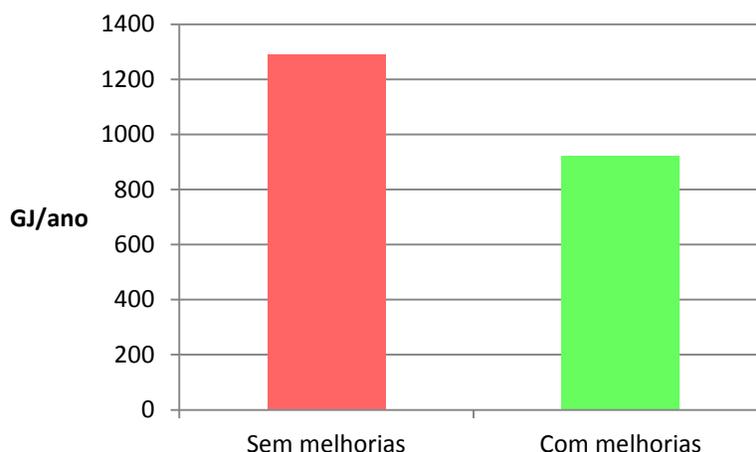


Fig. 4.13 – Comparação do consumo anual de gás propano, antes e depois das melhorias.

Sendo o grande consumidor do edifício o sistema de aquecimento a gás propano, foi da maior importância a diminuição do seu consumo para a diminuição geral no consumo de energia. As medidas implementadas culminariam numa redução no consumo de gás de 8.18 toneladas, correspondentes a 28,58%.

Tabela 4.6 – Qualificação energética do edifício em estudo, com e sem melhorias.

Consumo	MJ/m ²	kWh/m ²	Normal >510 kWh/m ²	Eficiente <510 kWh/m ²
Sem melhorias	1860.65	516.84	X	
Com melhorias	1295.36	359.82		X

A eficiência de um edifício de piscinas interiores segundo o Guia da DETREE 2013 é caracterizada pela quantidade de energia utilizada anualmente por unidade de área. No caso de estudo, antes de efetuadas as alterações propostas o edifício era considerado “Normal” no que diz respeito à sua prestação energética, já depois de implementadas as medidas a classificação passou a ser de “Eficiente”.

5. CONCLUSÃO

A eficiência energética é cada vez mais uma realidade. Com a elaboração deste estudo percebe-se a sua relevância no caminho da humanidade para um futuro energeticamente sustentável. As oportunidades de melhoria estão nos mais variados quadrantes dos consumos, desde as soluções construtivas até à simples mudança de atitude perante situações habituais do dia-a-dia. No futuro ir-se-á olhar para a eficiência energética da mesma forma que hoje em dia se olha para a resistência da estrutura; irão ter a mesma ordem de importância.

Foi selecionado o edifício das piscinas municipais cobertas de Vila Nova de Foz Côa como caso de estudo neste trabalho devido à idade do edifício e a necessidade iminente de remodelações, o que pode vir a ser um fator extra para a implementação das medidas de eficiência energética estudadas. Utilizando softwares de simulação energética de edifícios procurou-se fazer um estudo energético e económico das instalações em causa.

Os softwares de simulação energética são uma ferramenta indispensável para a elaboração de estudos como o realizado. Destacam-se as inúmeras soluções apresentadas pelo programa Energyplus que contém um número bastante alargado de variáveis, o que permite uma enorme precisão no momento de inserir dados e retirar conclusões. No caso de estudo, o maior obstáculo surgiu devido à inexperiência em lidar com os programas, o que levou a que fossem despendidas dezenas de horas na aprendizagem.

Algumas características dos sistemas do edifício simulado não são iguais à realidade. O sistema de desumidificação funciona utilizando a secção de arrefecimento da UTA, mas na simulação e por motivos de simplificação admitiu-se um sistema de expansão direta de desumidificação, que funciona completamente separado do sistema de AVAC. De considerar ainda que o circuito de AQS não foi implementado na simulação.

Considerou-se o estudo em questão pertinente devido aos seus grandes consumos de energia e capacidade de aplicação de medidas que os reduzissem. Isso veio, de facto, a verificar-se com a diminuição em 87% do consumo de eletricidade aquando da

substituição das lâmpadas fluorescentes atuais por lâmpadas LED, traduzindo-se num valor anual de poupança da instalação em eletricidade de 1.816,54 €/ano.

As soluções construtivas foram, desde o primeiro momento, um dos grandes focos deste estudo, porque do ponto de vista térmico o edifício é lamentavelmente fraco. Talvez isso se deva à pouca importância dada à vertente térmica do edifício pelos seus projetistas pois, no início da década de 90, não havia esta preocupação com custos e com o ambiente que existe atualmente. As alterações propostas e estudadas foram, nomeadamente, a substituição do telhado de fibrocimento por painéis de chapa sandwich (isolante), a colocação de EPS no exterior do edifício e ainda o acoplamento de lã mineral ao teto falso já instalado. Como resultado destas mudanças atingiu-se uma poupança no consumo de gás propano na ordem dos 20,5%, representando um valor monetário de 7.153,00€ anuais.

A mudança de atitude em relação a determinados comportamentos adotados pelos gerentes das instalações em causa pode contribuir bastante para uma diminuição dos consumos. No caso de estudo denotou-se um decréscimo de 14,2% no consumo de água de reposição da piscina e 2,75% no consumo de gás propano, simplesmente alterando o perfil de utilização da cobertura do pano de água. Estima-se um impacto económico de 908,50€ na fatura anual de gás, que corresponde a uma redução de 10m³ de gás consumido.

O resultado mais surpreendente de todas as medidas adotadas surgiu aquando da alteração das temperaturas padrão das zonas térmicas, onde se diminuiu apenas 1°C resultou numa poupança anual de 3.131,83€, sem pôr em causa a qualidade e conforto do ambiente interior segundo as condições de projecto apresentadas na memória descritiva do edifício.

A poupança que se atingiria uma vez implementadas todas as medidas de redução de consumo de energia seria de 28,6% da fatura do gás propano e de 38,1% na eletricidade. O edifício passaria de uma categoria considerada “Normal” para a categoria de “Eficiente”, segundo o Guia da DETREE 2013, uma vez aplicadas as sugestões propostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Exxon Mobile, Panorama Energético - Perspetivas para 2040, Irving, 2014.
- [2] BCSD Portugal, Manual de boas práticas de eficiência energética, Lisboa, 2005.
- [3] Comissão Europeia, Compreender as políticas da União Europeia., Bruxelas: Serviço das Publicações da União, 2013.
- [4] Direcção Geral de Energia e Geologia, Energia em Portugal, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013
- [5] Governo Português, Resolução da Assembleia da República n.º 33/2010, Lisboa, 2010.
- [6] ADENE, “Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos,” [Acedido a 15/8/2017].
<https://www.seep.pt/pt-PT/Paginas/default.aspx>
- [7] ADENE, “Agência para a Energia”, [Acedido a 16/8/2017]
<http://www.adene.pt/>
- [8] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 - Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, 2002.
- [9] Governo Português - Ministério da Economia e da Inovação, Decreto-Lei n.º 78/2006 D.R 1ª série - A N.º 67 de 4 de Abril, 2006.
- [10] Governo Português - Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto-Lei n.º 79/2006 D.R. 1 série-A N.º 67 de 4 de Abril, 2006.
- [11] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, Directiva 2010/31/Eu de 19 de Maio de 2010 -Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, 2010.
- [12] Governo Português, Decreto-Lei n.º 80/2006 D.R. 1ª série - A N.º 67 de 4 de Abril, 2006.

- [13] Governo Português - Ministério da Economia e do Emprego, Decreto-Lei n.º 118/2013. D. R. 1ª série - N.º 159 de 20 de Agosto, 2013.
- [14] European Parliament, Directive on the energy performance of buildings, France: European Parliament, 2002.
- [15] European Parliament and Council, Energy performance of buildings, in: Directive 2010/31/EU, Official Journal of the European Union, Luxembourg, 2010.
- [16] Kampel, W., Aas, B., & Bruland, A. (2013). Energy-use in Norwegian swimming halls, *Energy & Buildings*. [Acedido a 17/8/2017]. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.011>
- [17] ASHRAE (1999b). (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), 1999, HVAC Application Handbook, Chapter 4 – Comfort Applications: Natatoriums, Atlanta, GA, pp. 4.5 - 4.7.
- [18] SEDAC. (2011). Energy smart tips for swimming pools. [Acedido a 16/8/2017]. http://greenervanston.org/wp-content/uploads/2014/02/SEDAC_Schools.pdf
- [19] U.S. Department of Energy (2016). EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation “Engineering Reference”
- [20] DETREE. (2013). Good Practice Guide 219 - Energy efficiency in swimming pools. [Acedido a 12/8/2017].
- [21] <http://www.cibse.org/getmedia/f36a292c-8eea-4610-b764-e23774a52cb9/GPG219-Energy-Efficiency-in-Swimming-Pools.pdf.aspx>
- [22] Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios: Pina dos Santos, Carlos A.; Matias, Luís (2006) ITE 50

ANEXO A

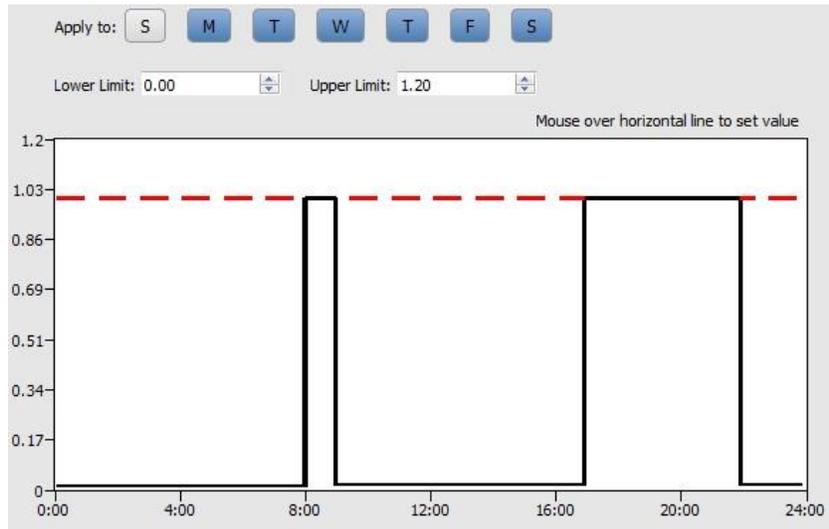


Fig.A.1 - Perfil de funcionamento da iluminação exterior, adaptado de OpenStudio®.

Como demonstra a imagem A.1, a iluminação exterior funciona apenas durante o horário útil das instalações em período noturno. O valor 1 (um) na figura significa que se está a utilizar 100% da potência instalada. Isto será válido para todas as figuras que se seguem no anexo A. Neste caso, a iluminação exterior estará a debitar 1280W de energia durante esse período. Os dias a que se aplicam estes horários são referidos no topo das figuras onde a cor mais escura sobre a letra indica que é válido para esse dia da semana.

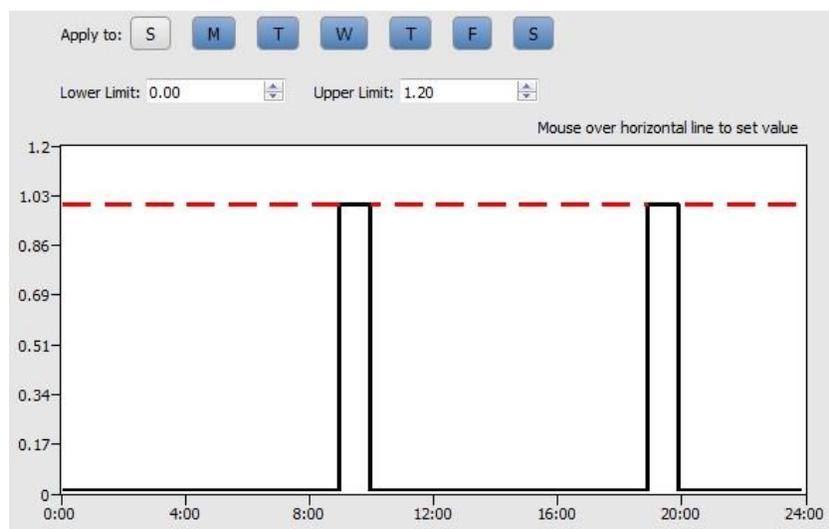


Fig.A.2 - Perfil de funcionamento da iluminação sala das máquinas, adaptado de OpenStudio®.

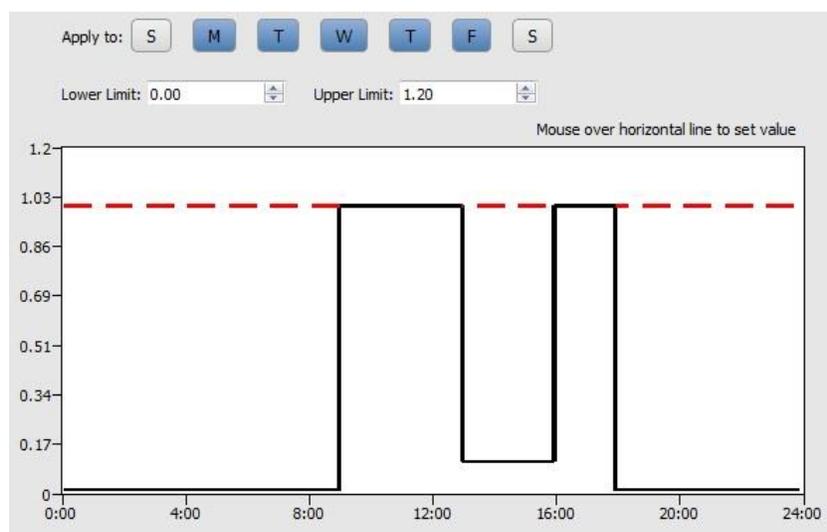


Fig.A.3 - Perfil de funcionamento da iluminação sala dos espectadores, adaptado de OpenStudio®.

A sala de espectadores é principalmente utilizada durante o leccionamento das aulas, onde os alunos impedidos de fazer aula ficam a observar o professor e os colegas, em vez de serem dispensados. Sábado e Domingo este espaço, pelo referido anteriormente, não necessita de iluminação.

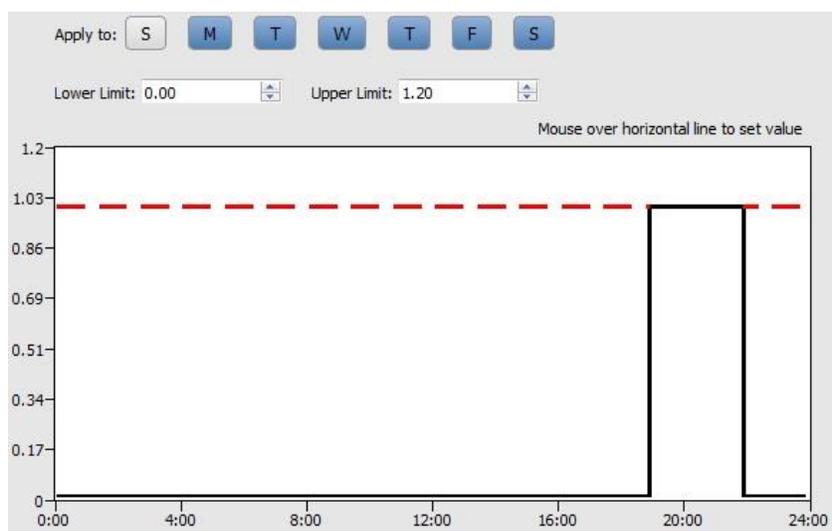


Fig.A.4 - Perfil de funcionamento da iluminação e equipamentos da sauna, adaptado de OpenStudio®.

A utilização desta zona térmica restringe-se ao período entre as 19:00h e as 22:00h, esta apenas é utilizada por utentes fora do horário escolar.

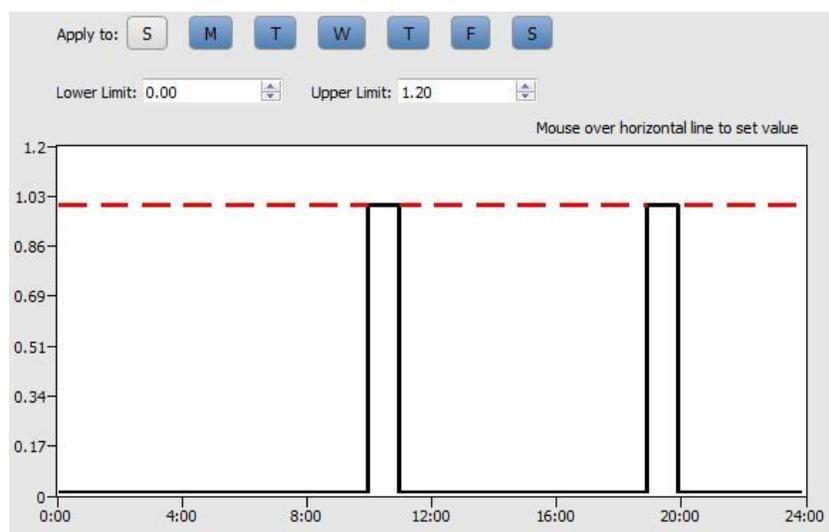


Fig.A.5 - Perfil de funcionamento dos secadores de cabelo, adaptado de OpenStudio®.

Sabendo que os secadores de cabelo são utilizados durante todo o dia simplificou-se, mediante aconselhamento do responsável das instalações, a considerar-se uma hora de manhã e outra da parte da tarde.

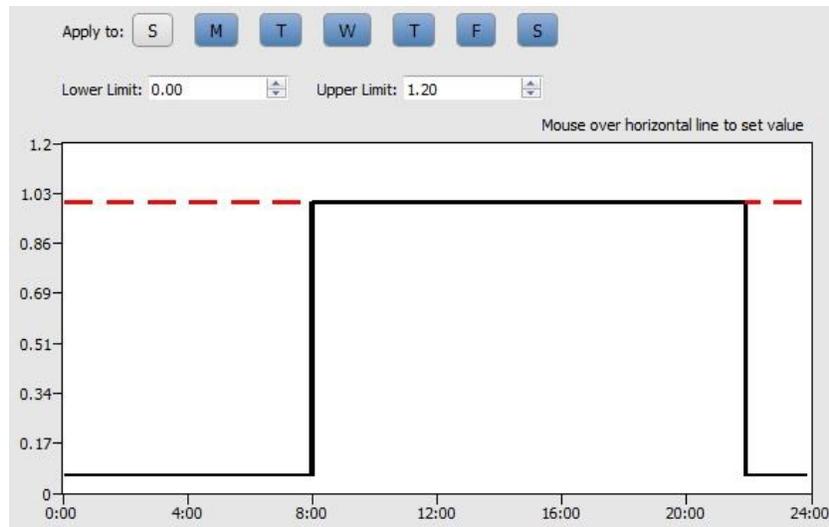


Fig.A.6 - Perfil de funcionamento TV/PC's e iluminação dos restantes espaços, adaptado de OpenStudio®.

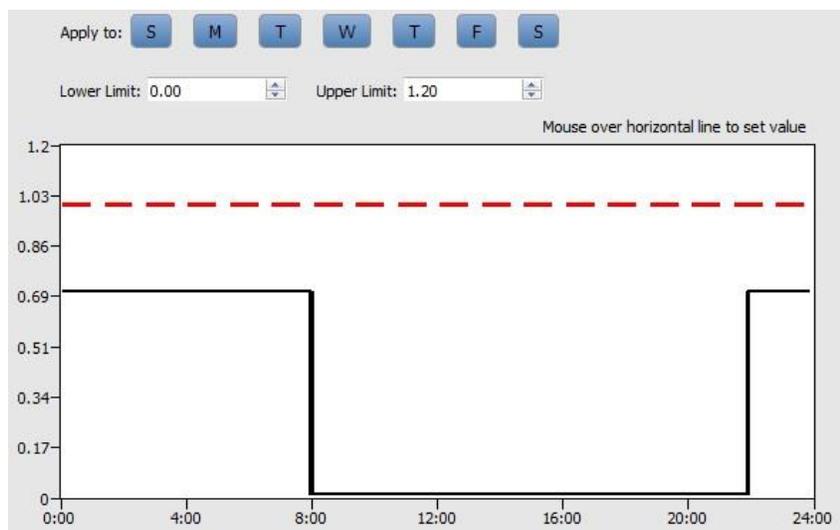


Fig.A.7 - Perfil de funcionamento do pano de cobertura da piscina, adaptado de OpenStudio®.