



Auditoria Energética e Plano de Racionalização de Consumo e Custo de Energia de um Clube Desportivo

EDUARDO MICAEL MOREIRA DA SILVA E CASTRO

novembro de 2020

AUDITORIA ENERGÉTICA E PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMO E CUSTO DE ENERGIA DE UM CLUBE DESPORTIVO

Eduardo Micael Moreira da Silva e Castro
1150549

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

AUDITORIA ENERGÉTICA E PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMO E CUSTO DE ENERGIA DE UM CLUBE DESPORTIVO

Eduardo Micael Moreira da Silva e Castro
1150549

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Doutor Rui Rego

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutora Ana Maria Raposo João
Engenharia Mecânica, ISEP

Orientador

Doutor Rui Araújo Rego
Engenharia Mecânica, ISEP

Arguente

Doutor Amadeu Duarte da Silva Borges
UTAD

AGRADECIMENTOS

A todos os que permitiram a realização deste trabalho, com especial atenção ao meu orientador Rui Rego por todo o apoio e paciência às minhas falhas, à Gabriela Bonito pela preocupação e atenção e ao engenheiro Joaquim Monteiro por toda a disponibilidade e ensinamentos, um sincero agradecimento.

A toda a minha família pelo apoio e paciência, um especial obrigado.

PALAVRAS CHAVE

Palavras chave: Complexos Desportivos, Piscinas Interiores, Auditoria Energética, AVAC, Racionalização de Energia

RESUMO

As necessidades de aquecimento associadas à manutenção de grandes volumes de água aquecida e temperaturas do ar interior elevadas são as razões maioritárias para os elevados consumos de energia relacionados a complexos desportivos com piscinas interiores.

O Clube Propaganda da Natação oferece uma gama extensa de serviços, desde atividades aquáticas dependentes de piscinas interiores assim como aulas de luta corpo-a-corpo, dança e ginásio de musculação. Erros de projeto e deterioração de equipamentos estão entre as causas dos elevados custos de exploração deste clube e de condições interiores da nave de piscinas não ideais.

Na tentativa de procurar soluções para resolver estes problemas e com a intenção de reduzir os consumos e consequentes custos, o CPN procurou parceria com a ONGD Engenho & Obra e o ISEP, que, por sua vez, providenciaram a comunicação entre alunos de três especialidades de engenharia na análise do caso de estudo.

O CPN apresenta consumos específicos que se enquadram dentro dos valores expectáveis para edifícios portugueses equivalentes, com uma média trianual de 2187 kWh por metro quadrado de área de superfície de plano de água por ano e 518 kWh por metro quadrado de área interna de edifício por ano.

Foi delineado o princípio de funcionamento e medições aos principais equipamentos em utilização na procura de anomalias. Realizaram-se também medições às condições internas da nave das piscinas.

São exploradas duas soluções de redução de consumos energéticos. A primeira, associada à evaporação, consiste na aplicação de uma cobertura de plano de água, com redução anual de custos prevista compreendida entre os 3840 e 6250 €. A segunda, associada a perdas pela envolvente construtiva, consiste na aplicação de isolamento térmico dos tanques de compensação situados no exterior do edifício, com uma redução anual prevista de 240 €.

Foi também modelada uma versão simplificada do edifício em *software* de simulação energética de edifícios EnergyPlus, na tentativa de quantificar o impacto nos consumos e condições internas da nave da substituição da cobertura da nave de piscinas por uma cobertura com coeficiente de transmissão térmica regulamentar.

KEYWORDS

Keywords: Sport Complexes, Indoor Pools, Energy Audit, Energy Rationalization, HVAC

ABSTRACT

Heating needs associated with the guarantee of large volumes of warm water and high interior air temperatures are the main reasons for the high energy consumption that is linked with sport complex with indoor pools.

Clube Propaganda da Natação (CPN) offers services from aquatic activities dependent of indoor pools as well as close combat and dance classes and a gym. Project mistakes and deterioration of equipment are between the causes of elevated exploration costs of CPN aswell as the non-ideal internal conditions of the swimming pool hall. In an attempt of finding solutions to fixing these problems, and with the intent of reducing the energy consumption e consequent costs, CPN has partnered with Engenho & Obra and ISEP which provided communication between three engineering specialties students in the analysis of case study.

CPN presents specific consumption that fits the expectable values for equivalent Portuguese building, with a triennial average of 2187 kWh for each square meter of water plain surface per year and a 518 kWh for each square meter of floor surface of the building per year.

The operation principle was delineated and measurements to major equipment in use were done to search for anomalies. Measurements of internal air conditions in the pool area were done as well.

Two solutions for the reduction of energy consumption were explored. The first associated with evaporation, consists in the application of an existing water surface cover, with a predicted annual cost reduction between 3480 and 6250€. The second, associated with energy losses through the building construction, consists in the application of external thermal isolation on the compensation tanks found outside of the main building, with a predicted annual cost reduction of 240 €.

A simplified version of the building was done in building energy simulation software EnergyPlus, in the attempt of quantifying the impact on the consumption and swimming pool hall internal condition of the substitution of the swimming pool hall roof for a roof with a thermal transmission coefficient that aligns with present regulations.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AQS	Água Quente Sanitária
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CPI	Complexos com Piscinas Interiores
CPN	Clube de Propaganda da Natação
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GN	Gás Natural
IEA	Agência Internacional de Energia
IPE	Indicadores de Performance Energética
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
ONGD	Organização Não Governamental para o Desenvolvimento
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência
QAI	Qualidade do Ar Interior
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RSTPUP	Regulamento Técnico-Sanitário de Piscinas de Uso Público
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SB	Sistema de Bombagem
UE	União Europeia

Lista de Unidades

g	Gramas
°C	Graus Celsius
K	Kelvin
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
J	Joule
h	Hora
s	Segundo
Pa	Pascal
W	Watt
rpm	Rotações Por Minuto
GD	Graus-Dia
V	Volt
A	Ampere
dB	Decibel

 Lista de Símbolos

€	Euro
Φ	Humidade relativa (%)
p_r	Pressão parcial do vapor de água no ar a dada temperatura (Pa)
p_s	Pressão parcial do vapor de água no ar saturado a dada temperatura (Pa)
p	Pressão absoluta do ar a dada temperatura e pressão (Pa)
W	Humidade absoluta ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$)
v	Volume específico do ar ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)
T	Temperatura de bolbo seco ($^{\circ}\text{C}$)
h	Entalpia específica do ar ($\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$)
V	Capacidade do tanque de natação (m^3)
Q	Caudal de circulação mínimo (m^3/h)
R	Fator de recirculação (h/m)
H	Profundidade média do tanque (m)
k	Fator de rendimento do sistema de tratamento (banhista/ m^3)
f	Fator de ocupação específica ($\text{m}^2 \cdot \text{h}/\text{banhista}$)
T	Período de renovação (h)
E_0	Taxa de evaporação de água por unidade de área ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
ρ_w	Massa volúmica de ar saturado à temperatura da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
ρ_r	Massa volúmica de ar interior ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
W_w	Humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$)
W_r	Humidade absoluta do ar interior ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$)
p_w	Pressão parcial de vapor de água no ar saturado à temperatura da água (Pa)
p_r	Pressão parcial do vapor de água no ar interior (Pa)
E_{ocup}	Taxa de evaporação em piscina ocupada ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
A_{piscina}	Área de superfície de piscina (m^2)
E_{vap}	Entalpia de vaporização ($\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$)
$T_{\text{água}}$	Temperatura da água da piscina (K)
q_e	Perdas térmicas por evaporação ($\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
v_s	Velocidade do ar junto ao plano de água ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
q_r	Perdas térmicas por radiação ($\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
ε_w	Emitância de grande comprimento de onda
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($\text{W} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{m}^{-2}$)
T_s	Temperatura das paredes do edifício envolvente das piscinas (K)
q_c	Perdas térmicas por convecção ($\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

T_a	Temperatura do ar (K)
q_{mku}	Perdas térmicas associadas à compensação ($J \cdot dia^{-1} \cdot m^{-2}$)
T_{mku}	Temperatura da água de compensação da rede (K)
m_{evap}	Taxa de evaporação de água ($kg \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$)
c_p	Calor específico da água a pressão constante ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
h_{fg}	Calor latente de evaporação da água ($MJ \cdot kg^{-1}$)

GLOSSÁRIO DE TERMOS

AC	Consumo anual de energia por unidade de área total
AP	Consumo anual de energia por unidade de área de superfície de água

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONSUMO ENERGÉTICO FINAL MUNDIAL POR FONTE ENERGÉTICA, ADAPTADO DE (IEA, 2019A).....	35
FIGURA 2 - INSTALAÇÃO TÍPICA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PISCINAS, ADAPTADO DE (FARIA ET AL., 2012)	38
FIGURA 3 - REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS POR SISTEMAS EM CPI	45
FIGURA 4 - REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS, ADAPTADO	47
FIGURA 5 – FENÓMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA EM PISCINAS	49
FIGURA 6 - NÚMERO DE VISITAS REGISTRADAS POR DIA DA SEMANA.....	57
FIGURA 7 - VISITAS MENSAIS REGISTRADAS POR DIA DA SEMANA	57
FIGURA 8 - CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA E GÁS NATURAL	58
FIGURA 9 - CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA E DE GÁS NATURAL	58
FIGURA 10 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA ANUAL E RESPECTIVA DECOMPOSIÇÃO MENSAL...	59
FIGURA 11 - VALORES DE ENERGIA ELÉTRICA EM VAZIO ANUAL FATURADA E RESPECTIVA DECOMPOSIÇÃO MENSAL.....	60
FIGURA 12 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL (GÁS NATURAL).....	61
FIGURA 13 - COMPARAÇÃO DA EVOLUÇÃO MENSAL DO CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA E O NÚMERO DE GRAUS-DIA MENSAL	61
FIGURA 14 - GRAU DE RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA E NÚMERO DE GRAUS-DIA ...	62
FIGURA 15 – EVOLUÇÃO DOS CUSTOS UNITÁRIOS DE ENERGIA TÉRMICA E ENERGIA ELÉTRICA	62
FIGURA 16 - CONSUMO QUADRIMESTRAL DE ÁGUA (ESQUERDA) E CONSUMO DIÁRIA ESTIMADO (DIREITA).....	63
FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NAS SUA PARCELAS, REFERENTE AOS EQUIPAMENTOS DA TABELA 14.....	69
FIGURA 18 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR PARCELA, REFERENTE AOS EQUIPAMENTOS DA TABELA 14	69
FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA PARA O PERÍODO DE MEDIÇÃO	71
FIGURA 20 - VALORES DE VELOCIDADE REGISTRADOS PARA O PERÍODO DE MEDIÇÕES	72
FIGURA 21 - NÚMERO DE OCORRÊNCIA POR VALOR DE VELOCIDADE E RESPECTIVA PORCENTAGEM	72
FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PRESSÃO ABSOLUTA DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÕES .	73
FIGURA 23 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE HUMIDADE RELATIVA DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÕES .	73
FIGURA 24 - EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS DE HUMIDADE ABSOLUTA DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÕES	73
FIGURA 25 - COBERTURA DE PLANO DE ÁGUA EXISTENTE	76
FIGURA 26 - FOTOGRAFIA À LATERAL POENTE DOS TANQUES DE COMPENSAÇÃO EXTERIORES (ESQUERDA) E CORRESPONDENTE IMAGEM TERMOGRÁFICA (DIREITA).....	83
FIGURA 27 - TANQUE DE COMPENSAÇÃO ADIABÁTICO	84
FIGURA 28 - SOLUÇÃO CONSTRUTIVA ATUAL E REPRESENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO	85
FIGURA 29 - POUPANÇA ANUAL EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA ASSOCIADA AO ISOLAMENTO TÉRMICO	86
FIGURA 30 - FOTOGRAFIA A ABERTURAS NA COBERTURA DA NAVE (ESQUERDA) E CORRESPONDENTE IMAGEM TERMOGRÁFICA (DIREITA).....	86

FIGURA 31 - VERSÃO SIMPLIFICADA DO EDIFÍCIO COM PAVILHÃO DE ERMESINDE ADJACENTE	87
FIGURA 32 - RESULTADOS DE HUMIDADE ABSOLUTA MÉDIA HORÁRIA DO AR DA NAVE.....	88
FIGURA 33 - RESULTADOS DE TEMPERATURA MÉDIA HORÁRIA DO AR DA NAVE.....	88
FIGURA 34 - COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA TÉRMICA DO EDIFÍCIO E RESULTADOS DE SIMULAÇÃO	89
FIGURA 35 - RESULTADOS DE HUMIDADE ABSOLUTA MÉDIA HORÁRIA EM SIMULAÇÃO COM COEFICIENTE CORRIGIDO.....	90
FIGURA 36 - RESULTADOS DE TEMPERATURA MÉDIA HORÁRIA EM SIMULAÇÃO COM COEFICIENTE CORRIGIDO.....	90
FIGURA 37 - COMPARAÇÃO DE CONSUMOS DE ENERGIA ENTRE SIMULAÇÃO ORIGINAL E SIMULAÇÃO CORRIGIDA	90

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - QUADRO LEGISLATIVO EUROPEU E PORTUGUÊS DE PROMOÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ADAPTADO DE (EC, 2019) E (SCE, 2019)	36
TABELA 2 - FATOR DE RECIRCULAÇÃO EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO	40
TABELA 3 - PERÍODO DE RENOVAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE TANQUE	41
TABELA 4 - VALORES DE INDICADORES DE PERFORMANCE ENERGÉTICA NA LITERATURA	44
TABELA 5 – REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS EM INSTALAÇÕES DESPORTIVAS COM PISCINAS INTERIORES EUROPEIAS, ADAPTADO DE (LEITAT & SEA, 2014).....	47
TABELA 6 – TEMPERATURA DO AR DA NAVE MINIMIZADORA DE PERDAS POR EVAPORAÇÃO PARA AS CONDIÇÕES DE MINIMIZAÇÃO	54
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DO CONTRATO	59
TABELA 8 - IPE DO CPN	64
TABELA 9 - VALORES DE LEITURA DO CONTADOR DE GÁS NATURAL	65
TABELA 10 - VALORES DE LEITURA DO CONTADOR DE ÁGUA.....	65
TABELA 11 - DADOS OBTIDOS NO VISOR DA CALDEIRA	66
TABELA 12 - DADOS OBTIDOS PELO ANALISADOR DE GASES DE COMBUSTÃO	66
TABELA 13 – CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO, VARIÁVEIS MEDIDAS POR CAUDALÍMETRO ULTRASSÓNICO E VALORES REGULAMENTARES	67
TABELA 14 - MEDIÇÕES E CÁLCULO DE CAUDAIS DE AR	67
TABELA 15 - DADOS OBTIDOS NO VISOR DA BOMBA DE CIRCULAÇÃO DO CIRCUITO PRIMÁRIO	68
TABELA 16 - MEDIÇÕES INSTANTÂNEAS EM QUADRO ELÉTRICO	68
TABELA 17 - RESUMO DOS DADOS OBTIDOS PELO ANALISADOR DE CONFORTO TÉRMICO	70
QUADRO 18 - CARACTERÍSTICAS DE RELEVÂNCIA DA NAVE	76
QUADRO 19 - NÚMERO DE HORAS DE APLICAÇÃO E DESAGREGAÇÃO POR TIPOLOGIA.....	77
TABELA 20 - RESULTADOS DE PERDAS ENERGÉTICAS SEGUNDO EQUAÇÕES DE (SHAH,2012)	81
TABELA 21 - RESULTADOS DE PERDAS ENERGÉTICAS SEGUNDO EQUAÇÕES DA NORMA NP 4448:2007	81

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Contextualização	29
1.2	Objetivos	30
1.3	Organização e metodologia	30
1.4	Iniciativa Engenharia Solidária	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Sustentabilidade e panorama energético	35
2.1.1	Incentivos à eficiência energética	35
2.2	Instalações de tratamento de água de piscinas.....	37
2.2.1	Componentes associados a instalações de tratamento de água	37
2.3	Normas e regulamentos.....	39
2.3.1	Excertos relevantes do RTSPUP.....	39
2.4	Indicadores de performance energética.....	42
2.5	Repartição dos consumos energéticos em CPI	45
2.5.1	Circulação e filtração de água	46
2.5.2	Aquecimento de água	46
2.5.3	Sistema AVAC	46
2.5.4	Iluminação	46
2.5.5	Distribuição percentual das parcelas consumidoras de energia	47
2.6	Noções de psicrometria	48
2.7	Fenómenos físicos em piscinas interiores.....	49
2.7.1	Evaporação em piscinas interiores.....	50
2.7.1.1	Equações para cálculo de taxas de evaporação.....	51
2.7.1.1.1	Piscinas Interiores Não Ocupadas	51
2.7.1.2	Quantificação de perdas energéticas por evaporação	52
2.7.1.3	Norma NP 4448:2007.....	52
2.7.2	Minimização de perdas de evaporação.....	53
2.8	Soluções de redução de consumos energéticos	54
3	AUDITORIA ENERGÉTICA E PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA.....	56

3.1	Diagnóstico.....	56
3.1.1	As instalações	56
3.1.2	Histórico	56
3.1.3	Utilização do complexo	57
3.1.4	Consumos e custos.....	57
3.1.4.1	Consumos e custos de energia anuais	58
3.1.4.2	Energia elétrica	59
3.1.4.2.1	Energia elétrica ativa.....	59
3.1.4.2.2	Energia elétrica reativa	60
3.1.4.3	Energia térmica – Gás Natural (GN).....	60
3.1.4.4	Comparação dos custos unitários de energia	62
3.1.4.5	Consumo de água	63
3.1.5	Benchmarking.....	64
3.1.6	Medições em campo	64
3.1.6.1	Leituras de contadores	65
3.1.6.2	Produção de energia	65
3.1.6.3	Circulação de água	66
3.1.6.4	Ventilação e aquecimento de ar	67
3.1.6.5	Equipamentos elétricos	68
3.1.7	Condições internas da nave	70
3.1.8	Problemas identificados	75
3.2	Plano de racionalização de energia.....	76
3.2.1	Solução de redução de consumos e custos associados a evaporação	76
3.2.1.1	Clube de Propaganda da Natação.....	76
3.2.1.2	Cobertura do plano de água	76
3.2.1.3	Tempo de aplicação de cobertura	77
3.2.1.4	Carga térmica de aquecimento de água de piscinas (período de não utilização)	77
3.2.1.5	Metodologia de cálculo da carga térmica.....	77
3.2.1.5.1	Perdas por evaporação	77
3.2.1.5.2	Perdas por radiação	78
3.2.1.5.3	Perdas por convecção	78
3.2.1.5.4	Perdas por reposição de água.....	78
3.2.1.6	Discussão de resultados de carga térmica de aquecimento de piscinas	78
3.2.1.7	Pressupostos	79
3.2.1.7.1	Pressuposto 1 – Temperatura de bolbo seco do ar da nave.....	79
3.2.1.7.2	Pressuposto 2 – Humidade relativa	80
3.2.1.7.3	Pressuposto 3 – Temperatura radiante média	80
3.2.1.7.4	Pressuposto 4 – Velocidade do ar junto ao plano de água	80
3.2.1.8	Redução de custos associados a consumos de energia térmica.....	80
3.2.1.9	Resultados.....	81
3.2.1.10	Considerações finais	82
3.2.2	Aplicação de isolamento na superfície externa dos tanques de compensação	82
3.2.2.1	Tanques de compensação expostos ao ambiente exterior	82

3.2.2.2	Análise do caso de estudo – tanques de compensação adiabáticos	83
3.2.2.3	Perdas pela envolvente.....	84
3.2.2.3.1	Descrição da solução construtiva atual.....	85
3.2.2.4	Quantificação da poupança anual	85
3.2.2.5	Cobertura da nave de piscinas.....	86
3.2.2.6	Modelação e simulação dinâmica do edifício	87
3.2.2.6.1	Modelação do edifício físico	87
3.2.2.6.2	Modelação dos sistemas AVAC.....	88
3.2.2.6.3	Resultados de simulação.....	88
3.2.2.7	Redução do coeficiente de transmissão térmica	90
3.2.3	Redução de custos associados a energia reativa	91
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	95
4.1	Conclusões	95
4.2	Proposta de trabalhos futuros	96
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	99
5.1	Artigos em revistas internacionais.....	99
5.2	Dissertações e teses.....	99
5.3	Websites.....	100
5.4	Outros estudos.....	101
6	ANEXOS.....	105
6.1	Requisitos do RSTPUP	107
6.2	Informação relativa às faturas de energia elétrica do ano de 2016	108
6.3	Informação relativa às faturas de energia elétrica do ano de 2017	109
6.4	Informação relativa às faturas de energia elétrica do ano de 2018	110
6.5	Compilação da faturação mensal de energia térmica e elétrica e custo específico de gás natural	111
6.6	Valores de leitura do contador de energia elétrica	112
6.7	Cálculo do caudal de ar novo	113
6.8	Condições de minimização de perdas por evaporação.....	114

6.9	Perdas por evaporação (NP 4448:2007)	115
6.10	Perdas por evaporação (Shah, 2012)	116
6.11	Tabelas para cálculo de perdas por radiação, convecção e reposição de água.....	118

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Organização e metodologia
- 1.4 Iniciativa Engenharia Solidária

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O aumento das emissões de carbono aparenta ser consequência direta do crescente consumo global de energia. Este aumento é acompanhado por uma preocupação mundial alarmística relativa à finitude e dependência civilizacional dos combustíveis fósseis bem como o impacto ambiental dos mesmos.

O Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris são exemplos da tomada de consciência governamental no que toca aos perigos do progresso insustentável e das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), consequência da queima de combustíveis não renováveis.

À data, as duas abordagens tomadas na redução de emissões de GEE são a conceção de tecnologias de captação de energia renovável e o direcionamento para a eficiência energética em projetos de engenharia. A primeira abordagem procura o fornecimento de energia limpa, tendo a segunda como objetivo a redução dos consumos energéticos. A combinação das duas abordagens é, desde logo, a solução ideal no que toca ao aproveitamento máximo dos recursos naturais com o menor impacto ambiental.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), os edifícios representam, aproximadamente, 36% do consumo global de energia e 40% das emissões globais de carbono.

A procura de energia neste setor tem crescido continuamente devido a um maior acesso a energia pelos países em desenvolvimento e ainda a uma maior utilização de equipamentos consumidores de energia.

Dentro da categoria de edifícios, os complexos com piscinas interiores (CPI) estão entre os que têm maior dependência energética, consequência da manutenção da qualidade do ar interior (QAI) e da circulação e aquecimento de grandes volumes de água.

A procura de melhorias de eficiência energética, através de soluções de engenharia adaptadas e substituição por tecnologia mais eficiente em edifícios existentes com elevado consumo de energia, caso dos CPI, é então justificável e de relevância aos níveis ambiental e socioeconómico.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho dividem-se em duas categorias:

1. Realização de uma auditoria energética às instalações;
2. Plano de racionalização de energia;

Procura-se através da realização de uma auditoria energética às instalações o seguinte:

- Análise das faturas de energia elétrica e térmica do complexo desportivo;
- Medições aos principais equipamentos consumidores de energia;
- Determinação do consumo e custos específicos da instalação, bem como a comparação dos valores obtidos com os das instalações equivalentes;
- Determinação do potencial de poupança de energia;

Procura-se através do plano de racionalização:

- Recomendações para a obtenção de poupanças energéticas nas estruturas físicas, equipamentos e boas práticas de gestão de consumo
- Elaboração de um Plano de Racionalização de Energia para validação pelo clube desportivo.

1.3 Organização e metodologia

Na secção de **Introdução** é feita a introdução ao tema, os objetivos do trabalho e algumas notas relativamente ao processo de estágio em concreto.

Na secção de **Revisão Bibliográfica**, é remarcado o direcionamento político e socioeconómico da Engenharia para medidas de redução de consumo de energia em âmbito de eficiência energética. Procede-se à descrição do funcionamento de CPI típicos e normas, regulamentos e diretivas aplicáveis. Uma breve introdução é feita aos fenómenos físicos recorrentes em edifícios e, especificamente, a piscinas interiores. Um conjunto de equações governantes destes fenómenos assim como equações gerais aplicáveis são aqui apresentados. É detalhado o fenómeno de evaporação, ponto crucial deste trabalho. Segue-se uma lista de soluções típicas associadas à redução de consumos em CPI.

Na secção **Desenvolvimento**, são detalhados o diagnóstico e o plano de racionalização de energia formulado.

Em primeiro instante, são descritos o funcionamento, logística e histórico do clube. Procede-se à descrição dos consumos e custos de energia – elétrica e de gás natural – e situa-se o clube nos parâmetros de eficiência de acordo com os indicadores de performance energética.

Descrevem-se as medições realizadas a equipamentos (com intuito de diagnóstico de eventuais problemas de funcionamento e como fundamento de posteriores cálculos) e às condições internas da nave de piscinas (com intuito de se situar o clube em relação a regulamentação e como fundamento para posteriores cálculos). São posteriormente classificados os problemas relatados e observados do clube.

Em segundo instante, é descrito o plano de racionalização de energia. Esta secção é separada em quatro segmentos. O primeiro segmento detalha a instalação de uma cobertura sobre o plano de água como forma de redução de perdas energéticas associadas à evaporação, suportada teoricamente pela literatura e pelas medições efetuadas. O segundo segmento explora a redução de consumos de energia associados a perdas pela envolvente dos tanques de compensação situados no exterior do clube. O terceiro segmento explora, através da modelação e simulação energética (amadora), o impacto da alteração do coeficiente de transmissão térmica da cobertura da nave nos consumos energéticos e nas condições internas. O último segmento explora a redução de custos associados a energia reativa.

Na secção **Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros**, são resumidos os resultados e análises obtidas assim como propostas de trabalhos futuros e ideias a explorar na perspetiva da redução de consumo energético.

Na secção **Bibliografia e Outras Fontes de Informação**, são detalhadas as referências necessárias para a realização deste trabalho.

Na secção **Anexos**, são indexados todas as tabelas, análises e cálculos cujo valor para o corpo do trabalho é secundário, no entanto, imprescindível para verificação de possíveis erros.

1.4 Iniciativa Engenharia Solidária

O presente trabalho é parte do projeto piloto resultante da iniciativa Engenharia Solidária, proposta pela ONGD Engenho & Obra. O piloto consiste na combinação das análises de três especialidades de engenharia – Civil, Eletrotecnia e Mecânica – na deteção de problemas e sugestão de propostas de soluções aos mesmos, no âmbito da redução de consumos e custos do Clube de Propaganda da Natação, sediado em Ermesinde. A iniciativa procura conciliar e harmonizar propostas de solução através da interligação e discussão entre especialidades.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Sustentabilidade e panorama energético
- 2.2 Instalações de tratamento de água de piscinas
- 2.3 Normas e regulamentos
- 2.4 Indicadores de performance energética
- 2.5 Repartição dos consumos energéticos em CPI
- 2.6 Noções de psicrometria
- 2.7 Fenómenos físicos em piscinas interiores
- 2.8 Soluções de redução de consumos energéticos

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sustentabilidade e panorama energético

O consumo energético mundial - [Figura 1](#) - tem sido tendencialmente crescente (IEA, 2019A). Por detrás deste aumento estão, entre outros, a industrialização e procura energética por parte de países em desenvolvimento assim como um crescimento populacional pronunciado. Na atualidade, as principais fontes de energia são os combustíveis fósseis: petróleo, carvão e gás natural. As fontes de energia renováveis têm representado aproximadamente 13% do fornecimento mundial de energia primária ao longo dos últimos anos.

Consumo energético total final (TFC) por fonte energética, Mundo 1990-2017
ktoe

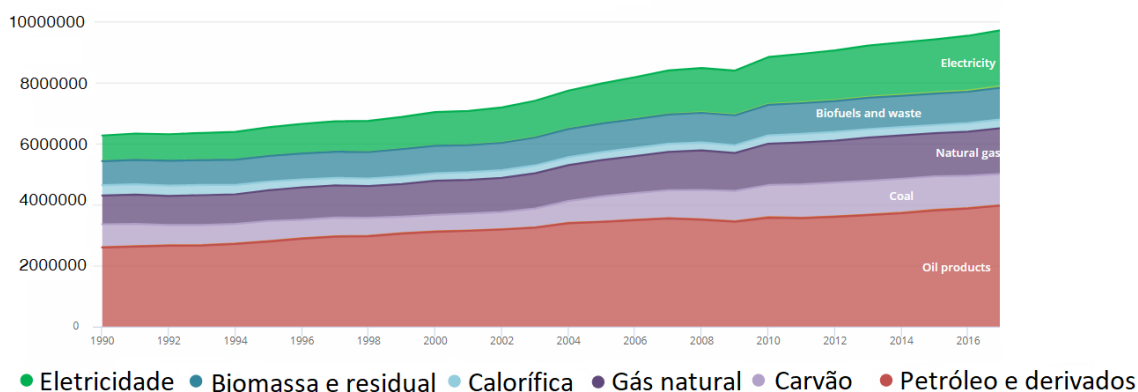


Figura 1 - Consumo energético final mundial por fonte energética, adaptado de (IEA, 2019A)

Portugal apresenta uma panorâmica diferente da situação mundial. As fontes de energia renovável somam um total de 25% do fornecimento de energia primária do país, aproximadamente duas vezes maior que fração mundial correspondente (IEA, 2019B). Destas destacam-se a energia solar e eólica, com cerca de quatro vezes a proporção mundial. A Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) aponta que o potencial de aproveitamento de energia solar e eólica de Portugal é significativo.

2.1.1 Incentivos à eficiência energética

A União Europeia (UE) reconhece a eficiência energética como uma ferramenta valiosa na limitação de alterações climáticas através da redução de consumos de energia e GEE resultantes e na redução da dependência de recursos energéticos escassos e finitos.

É apresentado na [Tabela 1](#) um quadro geral de parte da legislação associada à eficiência energética e relativa ao desempenho energético de edifícios a níveis europeu e português.

Tabela 1 - Quadro legislativo europeu e português para a eficiência energética, adaptado de (EC, 2019) e (SCE, 2019)

	<p>Diretiva 2002/91/CE</p> <p>16 de dezembro de 2002 Parlamento Europeu e do Conselho</p>	<p>Relativa ao desempenho energético dos edifícios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adoção de metodologias de cálculo de desempenho energético pelos Estados-Membros. • Certificação de desempenho energético.
	<p>Diretiva 2006/32/CE</p> <p>5 de abril de 2006 Parlamento Europeu e do Conselho</p>	<p>Relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Economia de energia de 9% no nono ano de aplicação da diretiva. • Criação planos nacionais para a eficiência energética
	<p>Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008</p> <p>20 de maio de 2008 Presidência do Conselho de Ministros</p>	<p>Aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) 2008</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medida de incentivo à aplicação de coletores solares térmicos para aquecimento de água de piscinas e AQS.
	<p>Diretiva 2010/31/EU</p> <p>19 de maio de 2010 Parlamento Europeu e do Conselho</p>	<p>Relativa ao desempenho energético dos edifícios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reformulação Diretiva 2002/91/CE • Edifícios novos – necessidades quase nulas de energia até 2020
	<p>Diretiva 2012/27/UE</p> <p>25 de outubro de 2012 Parlamento Europeu e do Conselho</p>	<p>Relativa à eficiência energética</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixa metas para 2020 • Altera 2010/30/EU • Revoga 2006/32/CE
	<p>Decreto-Lei nº 118/2013</p> <p>20 de agosto de 2013 Ministério da Economia e do Emprego</p>	<p>Relativo ao desempenho energético dos edifícios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transposição da Diretiva 2010/31/EU • Diploma único: RECS e REH
	<p>Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013</p> <p>10 de abril de 2013 Presidência do Conselho de Ministros</p>	<p>Aprova o PNAEE 2016</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimativa de redução de consumo energético de 8,2% relativamente ao consumo médio 2001-2005

2.2 Instalações de tratamento de água de piscinas

Desde o lazer e aprendizagem à manutenção física e competição da natação, os CPI possibilitam a prática de atividades, aquáticas ou não, sob condições bastante rigorosas de segurança sanitária e conforto térmico.

A manutenção da qualidade de água é conseguida através de sistemas de tratamento de água com equipamentos dedicados.

2.2.1 Componentes associados a instalações de tratamento de água

As instalações de tratamento de água em CPI são, em síntese, compostas por (Faria et al., 2012):

1. **Um ou mais tanques de natação** – tanque de água onde ocorrem as atividades aquáticas;
2. **Sistema de recirculação de água:**
 - a. **Caleiras** – dispositivos colocados no perímetro da superfície do tanque, responsáveis pela recolha de água deslocada pela entrada dos banhistas e da água em circulação;
 - b. **Tanques de compensação** – recetores da água das caleiras e da água fresca para compensação de perdas (evaporação em nave, transbordos, respetivamente);
 - c. **Bombas de circulação** – as bombas são responsáveis pela introdução da energia necessária à movimentação do fluido, em regime permanente;
 - d. **Bicos injetores** – os bicos injetores de água são distribuídos ao longo da parede ou fundo do tanque de natação, para introdução da água tratada ao tanque de natação;
3. **Sistema de tratamento de água:**
 - a. **Coagulação** – necessário para eliminação de partículas em suspensão coloidal;
 - b. **Filtração** – geralmente feita através de filtros fechados de material granular, sob pressão. A pré-filtragem, à entrada das bombas, impede a entrada de gravilhas ou outros elementos que possam danificar os rotores de impulsão das bombas;
 - c. **Desinfeção** – a eliminação de agentes patogénicos recorre usualmente, em Portugal, à utilização de cloro, sob a forma de hipoclorito. Outros desinfetantes como o ozono e a radiação ultravioleta são mais eficazes, embora acarretem custos de equipamentos e energéticos maiores;

- d. **Correção do pH** – necessária para o conforto dos banhistas e para a eficácia do tratamento, a correção de *pH* recorre à introdução de produtos alcalinos como o bicarbonato de sódio para valores de *pH* da água baixos e produtos como o ácido clorídrico para valores de *pH* altos;

4. Sistema de aquecimento de água:

- a. **Equipamento de produção de calor** – a temperatura da água das piscinas é, na maior parte do ano, superior às temperaturas do ar exterior. As perdas de energia associadas à transferência de calor originada por este diferencial são compensadas através de um elemento gerador de energia térmica, geralmente, uma caldeira.
- b. **Permutador de calor** – A energia térmica produzida pelo equipamento de produção de calor é transferida para um fluido térmico que circula em circuito fechado. Para o aquecimento da água é necessário então recorrer-se a permutadores de calor, onde a energia é transferida do fluido térmico para a água de alimentação.

A [Figura 2](#) apresenta um esquema representativo de instalação típica de tratamento de água de piscinas, adaptado a partir do esquema apresentado em (Faria et al., 2012).

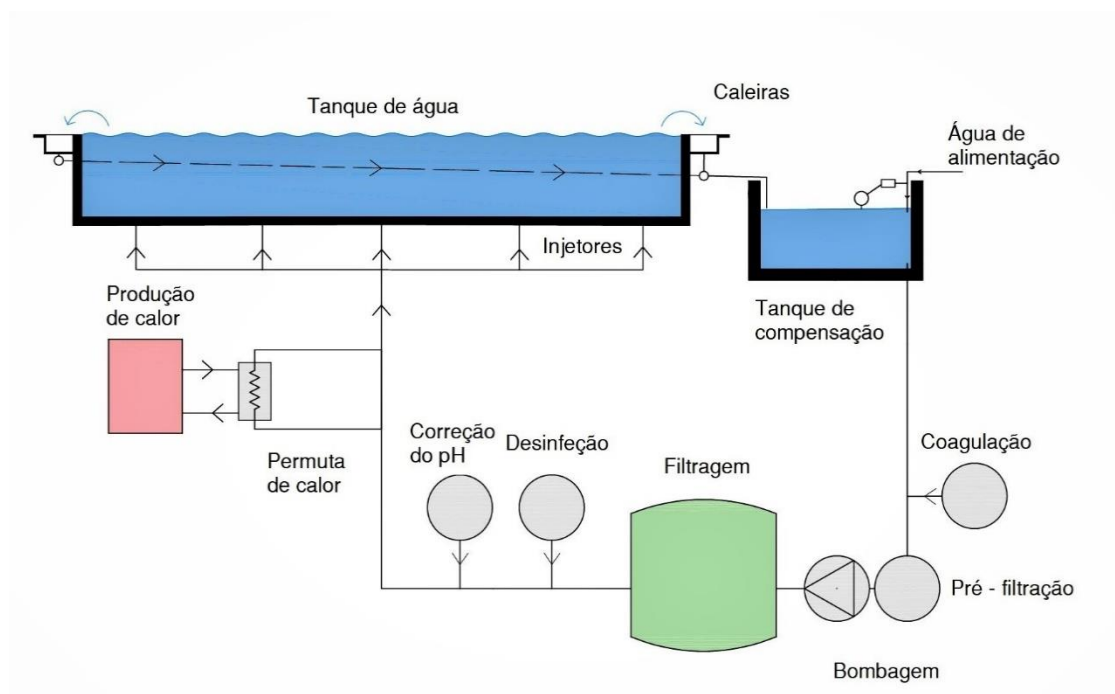


Figura 2 - Instalação típica de tratamento de água de piscinas, adaptado de (Faria et al., 2012)

2.3 Normas e regulamentos

O funcionamento e conceção dos CPI é regido por normas e regulamentos, nomeadamente:

- Diretiva CNQ 23/93;
- NP EN 15288-1: Piscinas – Parte 1 - Requisitos de Segurança para a Conceção;
- NP EN 15288-2, Piscinas – Parte 2 - Requisitos de Segurança para o Funcionamento;
- Regulamento Técnico-Sanitário de Piscinas de Uso Público (RTSPUP);

As normas NP EN 15288-1 e NP EN 15288-2 vêm substituir a Diretiva CNQ 23/93 – Qualidade nas Piscinas de Uso Público, cujas recomendações tinham vindo a ser utilizadas como referência para controlo de qualidade e higiene da água de piscinas de uso público. No entanto, mantêm-se válidas as recomendações relativas ao tratamento de água, conteúdo não tratado nas normas NP EN 15288.

O Regulamento Técnico-Sanitário de Piscinas de Uso Público é resultado da associação do Instituto Superior de Engenharia do Porto com o Centro de Estudo de Águas da Fundação Instituto Politécnico do Porto, com apoio de outras entidades relacionadas com a saúde, desporto e lazer em piscinas.

A informação que consta neste regulamento é resultado da compilação de conteúdo das normas EN 15288-1, EN 15288-2, da diretiva CNQ 23/93, assim como legislação nacional e internacional relativa ao funcionamento de piscinas.

2.3.1 Excertos relevantes do RTSPUP

Os excertos adaptados deste regulamento são relativos a piscinas cobertas, caso de estudo deste trabalho.

Artigo 4 – Relativo à lotação

4.1 - O número máximo de banhistas que poderão ser admitidos em simultâneo define-se por 1 banhista por cada 2 m² de plano de água.

4.4 - A capacidade diária de operação de uma piscina - número máximo de banhistas que poderão frequentar a instalação ao longo de cada dia - não deverá ser superior a 4 vezes a lotação máxima instantânea.

Artigo 16

Relativa à instalação de recirculação e tratamento de água

16.5 – O caudal de recirculação mínimo Q (m³/h) a assegurar pela instalação de tratamento de água é o maior dos caudais obtidos pelos métodos em 16.5.1 e 16.5.2.

16.5.1 – O valor obtido pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{V}{R \cdot H} \quad (1)$$

Em que:

V - capacidade do tanque de natação (m^3);

H - profundidade média do tanque (m) = volume/superfície;

R - fator de recirculação (h/m).

O fator de recirculação, R , é dado por:

$$R = k \cdot f \quad (2)$$

Em que:

k - fator de rendimento do sistema de tratamento (banhista/ m^3) - Tabela 2;

f - fator de ocupação específica ($m^2 \cdot h$ /banhista) - Tabela 2 .

Tabela 2 - Fator de recirculação em função do tratamento

Tipo de Tratamento	Tipo de piscina	k	f	R
I	Coberta	0,5	4	2
II	Coberta	0,6	4	2,4

Nota: Tratamento do tipo I: coagulação/floculação + filtração + desinfecção à base de cloro e bromo;

Tratamento do tipo II: coagulação/floculação + oxidação por ozono + absorção em carvão ativado + desinfecção à base de cloro ou bromo;

16.5.2 - O valor obtido pela expressão (3):

$$Q = \frac{V}{T} \quad (3)$$

Em que:

T - período de renovação (h) – cujos valores máximos são dependentes do tipo de tanque –Tabela 3.

16.16 - A velocidade de escoamento no circuito de alimentação (tanque de compensação - tanque de natação) não deverá ser superior a 1,5 m/s.

Tabela 3 - Período de renovação em função do tipo de tanque

Tipo de tanque	Período de renovação máximo, T
Tanques de recreação com profundidade entre 0,5 e 1 m	1 h
Tanques de competição de 25m de comprimento com profundidade superior a 1m	3 h

16.17 - As bombas, filtros, equipamentos de injeção de reagentes, caudalímetros, manómetros e todas as outras partes pertencentes ao circuito de tratamento de água, devem ser mantidas **permanentemente** em operação. A variação de caudal durante o ciclo de funcionamento dos filtros não pode ser reduzida em mais do que 20% do caudal definido no ponto 16.5 deste artigo.

16.18 Deve ser instalado em cada circuito de tratamento de água um caudalímetro para medir o caudal de água reciclada e um contador de água na linha de água de compensação para medir diariamente a quantidade de água renovada. Os dados obtidos anotam-se diariamente no Livro Oficial de Registo da Piscina.

Artigo 20

Requisitos da qualidade e tratamento da água da piscina

20.2.5 - Como **meio de regeneração complementar da água das piscinas**, deve ser assegurada uma **reposição diária de água fresca**, na proporção mínima de **30 litros por dia e por cada banhista que tenha frequentado a instalação, com o mínimo absoluto de 2% do volume do tanque**.

Artigo 24

Requisitos técnicos de iluminação e acústica

24.1 – Nas zonas de atividades ou de banho de piscinas cobertas e convertíveis, as instalações de iluminação artificial devem estabelecer-se de modo a garantir as melhores condições de visibilidade e a segurança dos utentes.

O nível de iluminação de serviço sobre o cais e as superfícies de plano de água, não deve ser em nenhum ponto inferior a 200 lux, em geral, ou a 300 lux nos tanques desportivos. Nas restantes zonas de serviços anexos das piscinas, deverá assegurar-se um nível mínimo de 150 lux de iluminação geral.

24.7 O nível de perturbação acústica nas zonas de banho ou de atividades, resultante do ruído exterior ou gerado pelo funcionamento das instalações tecnológicas não deverá ultrapassar a intensidade de 40 decibéis.

Artigo 23

Requisitos térmicos, de ventilação e da qualidade do ar interior

23.1 - As temperaturas da água dos tanques, de acordo com as suas tipologias, são, preferencialmente, as seguintes:

- Tanques desportivos, em geral: 24°C a 28°C;
- Tanques de aprendizagem e recreio: 27°C a 32°C;

23.4 - As piscinas cobertas e convertíveis serão dotadas de equipamentos e instalações de climatização – renovação e aquecimento do ar – estabelecidas e dimensionadas com a potência e disposições adequadas para a satisfação dos requisitos de eficiência energética indicados no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (Decreto-Lei 79/2006 de 4 de abril)* e dos requisitos de conforto termo higrométrico – informação convertida em tabela no anexo 6.1.

* Revogado e substituído parcialmente pelo RECS Decreto-Lei 118/2013

2.4 Indicadores de performance energética

Os indicadores de performance energética (IPE) são críticos na comparação de edifícios semelhantes através da qualificação dos consumos energéticos face a valores de referência. Valores bastante superiores a edifícios semelhantes são evidência de possibilidade de melhorias.

Os CPI incluem na sua definição ambos os complexos dedicados unicamente a atividades aquáticas e outros complexos que, para além de albergarem piscinas interiores, apresentam ginásios, halls de desporto, entre outros; esta dualidade tem implicações negativas na pesquisa de indicadores de referência e nas conclusões aquando da comparação dos CPI com edifícios que aparentem semelhança, mas com diferenças não explícitas na literatura.

A escolha de um bom indicador dependerá então das características especiais dos edifícios em estudo. É comum recorrer-se aos seguintes IPE:

- Consumo de energia por:
 - **unidade de área total** - medida pela envolvente exterior;
 - **unidade de área interna** - resultado da subtração da área das paredes à área da envolvente exterior;

- **unidade de volume condicionado** – volume dos espaços termo higrometricamente condicionados;

No entanto, é frequente na literatura relativa a consumos energéticos em CPI, a apresentação de um outro indicador – **Consumo de energia por unidade de área de superfície de água**.

Neste trabalho, devido à sua forte presença na literatura, será dada especial relevância aos seguintes IPE:

- AC – Consumo anual de energia por unidade de área total, em $kWh/m^2/ano$
- AP – Consumo anual de energia por unidade de área de superfície de água, em $kWh/m^2/ano$

É preciso salvaguardar que estes indicadores não incluem variáveis que influenciam o consumo energético como o número de utilizadores, as soluções construtivas, as condições climatéricas do local, número de horas de funcionamento, as temperaturas da água nos tanques, entre outros. Por estas razões, é importante não atribuir um peso excessivo a estes indicadores aquando da nossa análise do desempenho energético do edifício.

Salienta-se também que estes indicadores apenas representam os consumos finais totais dos CPI e não apenas aqueles associados à manutenção das condições do ar da nave e da água das piscinas.

A informação obtida da literatura relativa a indicadores de performance energética em complexos desportivos encontra-se condensada na [Tabela 4](#).

O indicador AC aparenta dependência parcial da zona climática onde se insere o CPI. Países constituintes da Europa continental apresentam valores de IPE mais altos do que aqueles em zonas mais quentes e com clima Mediterrânico mais acentuado (LEITAT & SEA, 2014; Trianti-Stourna et al., 1998).

Os valores do indicador AC em climas mediterrânicos, onde se inclui Portugal, rondam entre os 400 e 700 $kWh/m^2/ano$; os valores do indicador AP para o mesmo clima estão entre os 2100 e os 2900 $kWh/m^2/ano$.

Tabela 4 - Valores de indicadores de performance energética na literatura

Referência	Localização geográfica	Ano de publicação	Indicador AC	Indicador AP
Piscina Municipal de Celas (Manuel & Sampaio, 2016) ⁽¹⁾	Coimbra	2016	440	2896
Complexo de Piscinas Rui Abreu (Apolinário, 2015) ⁽¹⁾		2015	467	2141
Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição (Fontes, 2015) ⁽¹⁾		2015	740	2776
Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (Almeida, 2014) ⁽¹⁾		2014	636	2618
(Trianti-Stourna et al., 1998) ⁽²⁾	Grécia	1998	450	-
(Saari & Sekki, 2008) ⁽³⁾	Helsínquia	2008	396	2784
Step2Sport (LEITAT & SEA, 2014) ⁽⁴⁾	Europa	2015	-	~ 3200 ⁽⁵⁾ (1800 – 5500)

⁽¹⁾ - Dissertações relativas a eficiência energética em CPI, instalações dedicadas unicamente a natação

⁽²⁾ - Artigo que sumaria os resultados de auditorias energéticas em CPI

⁽³⁾ - Artigo relativo a consumo de energia num CPI com várias instalações dedicadas a atividades não relativas à natação

⁽⁴⁾ - Relatório que compila os resultados de auditorias energéticas em CPI e outros complexos desportivos

⁽⁵⁾ - Valor médio de 9 CPI

2.5 Repartição dos consumos energéticos em CPI

Os CPI são instalações com elevado consumo de energia, consequência das necessidades de aquecimento do espaço e de grandes volumes de água (Cardoso, Gaspar, Góis, & Rodrigues, 2018; Trianti-Stourna et al., 1998; Zuccari, Santiangeli, & Orecchini, 2017), cuja decomposição em sistemas é apresentada na [Figura 3](#).

Os consumos energéticos podem ser divididos, primariamente, para a grande maioria dos CPI, nas suas porções térmica – normalmente associada ao aquecimento da água e do espaço – e elétrica – frequentemente associadas a ventiladores, bombas e iluminação.

Estudos em CPI de Coimbra e Leiria apontam proporções de energia elétrica e energia térmica entre os 23 e 34% e 66 e 77%, respetivamente (Cardoso et al., 2018).

A nível europeu, complexos dedicados unicamente a piscinas apresentam, para as parcelas supracitadas, valores variam entre os 14 e 52% para a primeira e 48 a 86% para a segunda (LEITAT & SEA, 2014).

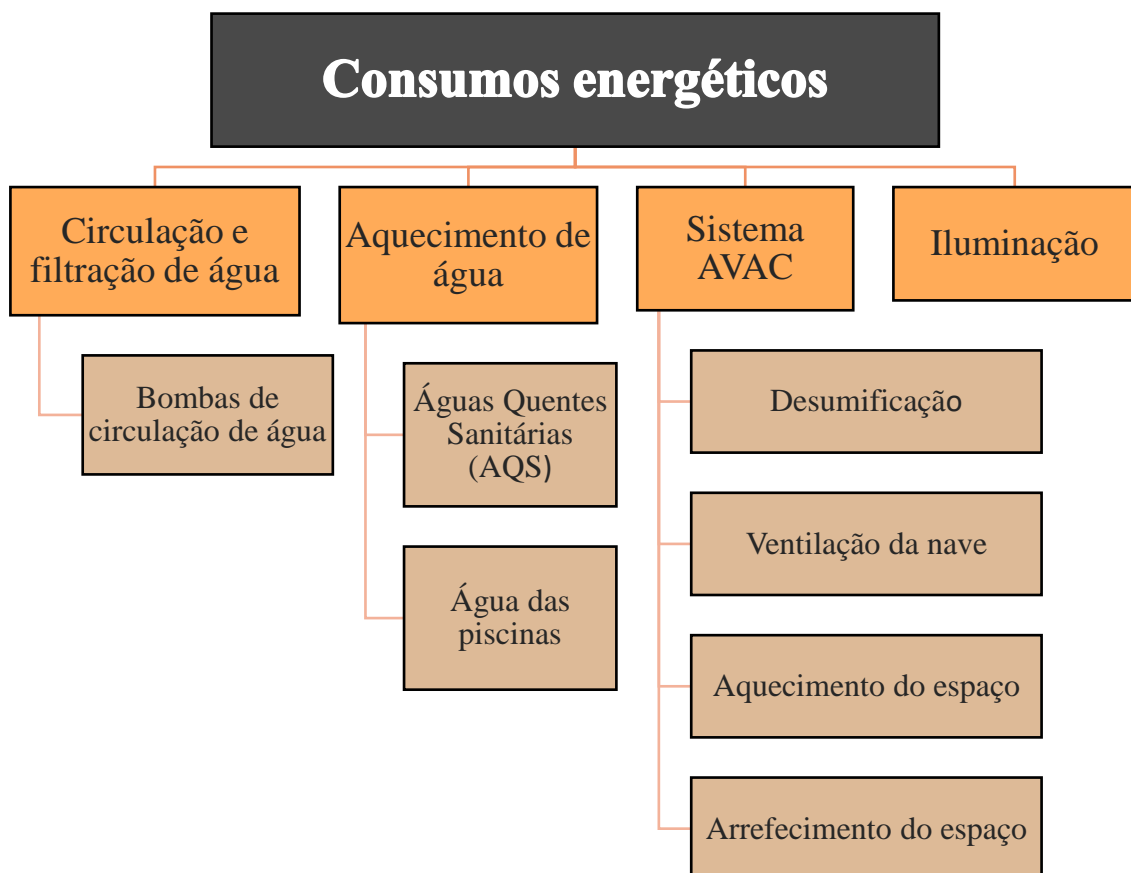


Figura 3 - Repartição dos consumos energéticos por sistemas em CPI

São quatro os grandes sistemas, a fundo laranja [Figura 3](#), responsáveis pela manutenção das exigências de conforto térmico e ambiente propício à prática de atividades aquáticas.

2.5.1 Circulação e filtração de água

A água das piscinas é caracterizada por conter uma larga variedade de poluentes de origem química e microbiológica, assim como outras impurezas, introduzidas pelos banhistas e pelo ambiente envolvente.

A necessidade de restringir estes poluentes a valores seguros, no domínio da saúde pública, acarreta o tratamento de água das piscinas interiores através de processos físicos, químicos e/ou fotoquímicos (Faria et al., 2012).

O tratamento é conseguido através da circulação permanente de água no circuito ao longo do qual se encontram os componentes responsáveis pela coagulação, filtração e doseamento químico para correção de pH e desinfeção. A circulação recorre à utilização de bombas de água, acionadas por motores elétricos. O sistema de bombagem (SB) é, por estas razões, consumidor de energia elétrica.

2.5.2 Aquecimento de água

O aquecimento de água, quer das piscinas, quer para Águas Quentes Sanitárias (AQS) é tradicionalmente conseguido recorrendo a um equipamento de produção de energia térmica, uma rede de circulação de fluido térmico e a permutadores de calor para transferir energia do fluido térmico para a água.

A utilização de coletores solares para aquecimento parcial ou total da água de piscinas é uma solução frequente em CPI, cujas regras de dimensionamento, conceção e instalação estão devidamente em legislação segundo a NP 4448:2007.

2.5.3 Sistema AVAC

O sistema AVAC é responsável por garantir a ventilação, aquecimento ou arrefecimento e desumidificação do ar da nave e do edifício para garantia da QAI. A particularidade de elevados níveis de humidade relativa na nave resultado de grandes volumes de água em ambiente interior e ainda da necessidade de temperaturas interiores significativamente superiores à temperatura exterior na maior parte do ano origina condensação em paredes e janelas. Como consequência, são possíveis danos diretos aos materiais e o aumento de níveis de bactérias, vírus e fungos não só redutores da QAI como também agentes de degradação do edifício (LEITAT & SEA, 2014; Lund, 2000).

2.5.4 Iluminação

A iluminação é comum a todos os estabelecimentos públicos com ocupação humana. Níveis mínimos de luminosidade são estabelecidos na regulamentação. A energia consumida por esta parcela é elétrica.

2.5.5 Distribuição percentual das parcelas consumidoras de energia

O aquecimento, recirculação e tratamento de grandes volumes de água e a garantia das exigências de QAI são as frações com maior representação na fatura energética em CPI. A [Figura 4](#) ilustra a distribuição percentual dos consumos energéticos associados às suas várias parcelas (Trianti-Stourna et al., 1998).

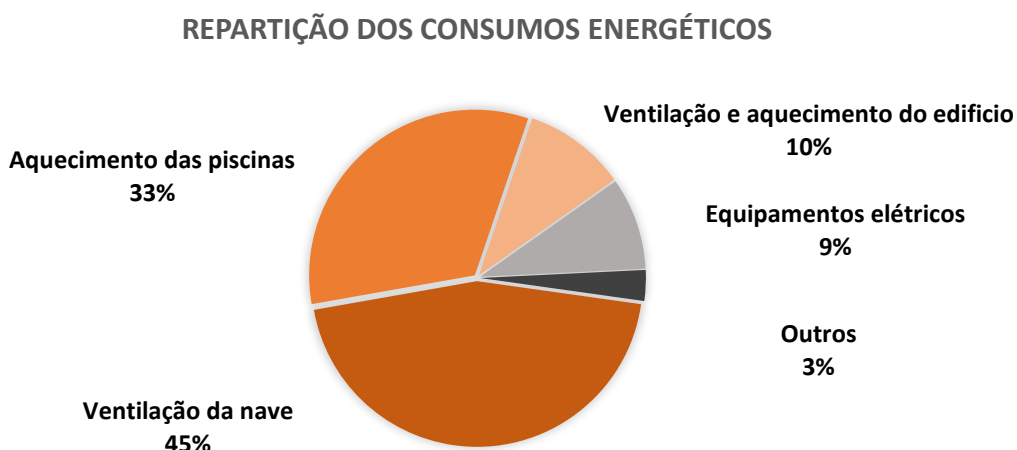


Figura 4 - Repartição dos consumos energéticos, adaptado

O estudo a nível europeu (LEITAT & SEA, 2014) aponta os valores em que se compreende a repartição dos consumos pelas respetivas parcelas nas instalações estudadas, segundo a [Tabela 5](#).

Tabela 5 – Repartição dos consumos em instalações desportivas com piscinas interiores europeias, adaptado de (LEITAT & SEA, 2014)

Parcela dos consumos	Unicamente piscinas	Complexos desportivos com piscinas interiores
Iluminação	3 – 13%	3 – 11%
AVAC	36 – 60%	13 – 52%
Sistemas de bombagem	2,2 – 27%	6 – 15%
Outros equipamentos elétricos	3 – 10%	1 – 8%
AQS	7 – 40%	9 – 30%
Aquecimento da água de piscina	25 – 50%	9 – 48%

2.6 Noções de psicrometria

A pressão parcial do vapor de água no ar - p_r - pode ser calculada por intermédio da humidade relativa e pressão de saturação do vapor de água em ar saturado à mesma pressão e temperatura - p_s - segundo a equação (4):

$$\phi = \frac{p_r}{p_s} \times 100 \quad (4)$$

onde:

ϕ – humidade relativa, %;

p_r – pressão parcial do vapor de água no ar a dada temperatura, em Pa;

p_s – pressão parcial do vapor de água no ar saturado a dada temperatura, em Pa.

A humidade absoluta do ar - W - a dada temperatura e pressão, é traduzida pela equação (5):

$$W = 0,621945 \frac{p_r}{p - p_r} \quad (5)$$

onde:

W – humidade absoluta, $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$;

p – pressão absoluta do ar a dada temperatura e pressão, em Pa.

O volume específico do ar - v - a dada temperatura e pressão, é traduzido pela expressão (6):

$$v = \frac{0,287042 (T + 273,15)(1 + 1,607858 W)}{p} \quad (6)$$

onde:

v – volume específico do ar, em $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$;

T – temperatura de bolbo seco, em $^{\circ}\text{C}$.

A entalpia específica do ar - h - é dada pela expressão (7):

$$h = 1,006 T + W(2501 + 1,86 T) \quad (7)$$

onde:

h – entalpia específica do ar, $\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$.

2.7 Fenómenos físicos em piscinas interiores

Os consumos energéticos de um edifício devem-se, maioritariamente, à compensação de perdas de energia por condução, convecção, radiação e ventilação.

Os CPI, devido a albergarem grandes volumes de água a temperaturas relativamente altas no interior das instalações, acarretam também consumos de aquecimento de água e de manutenção dos níveis aconselhados de humidade relativa.

A [Figura 5](#) representa alguns dos principais fenómenos de transferência de energia da nave de um CPI, sem consideração de cargas internas de ocupação e equipamentos. Todas as parcelas não associadas ao volume de água (a azul) aplicam-se também à generalidade das instalações.

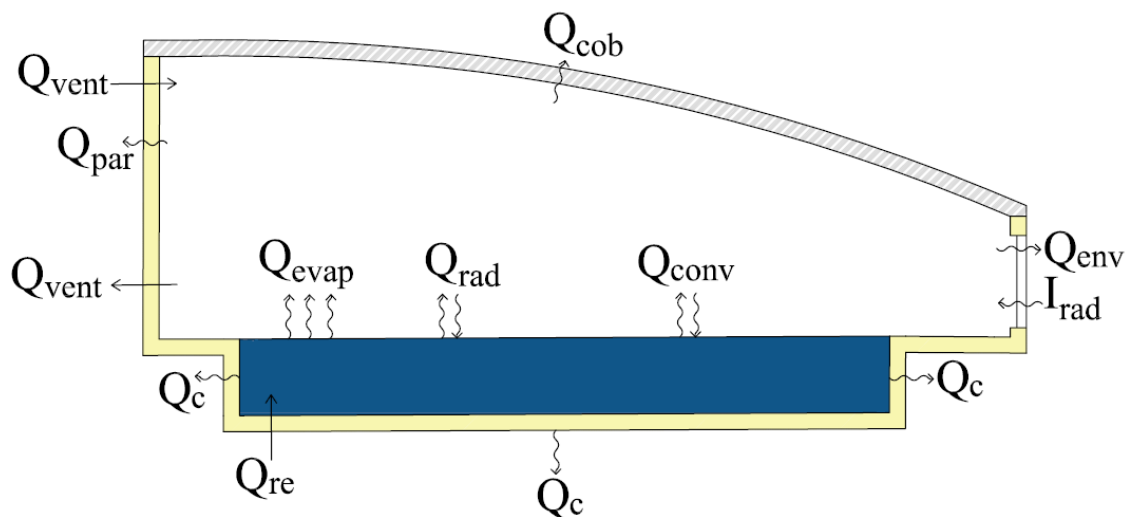


Figura 5 – Fenómenos de transferência de energia em piscinas

Os processos de transferência de calor referentes a todo o edifício listam-se da seguinte forma:

- Q_c – perdas pelo solo (condução), em Joules [J];
- Q_{cob} – perdas pela cobertura (radiação, convecção e condução), em Joules [J];
- Q_{par} – perdas pelas paredes (radiação, convecção e condução), em Joules [J];
- Q_{env} – perdas pelos envidraçados (radiação, convecção e condução), em Joules [J];
- I_{rad} – ganhos solares (radiação), em Joules [J];
- Q_{vent} – perdas e ganhos por ventilação do espaço (renovação de ar), em Joules [J].

Os processos de transferência de calor específicos ao volume de água listam-se da seguinte forma

- Q_{rad} – perdas ou ganhos por radiação com a envolvente, em Joules [J];
- Q_{conv} – perdas ou ganhos por convecção com o ar interior, em Joules [J];
- Q_{evap} – perdas por evaporação de água, em Joules [J];
- Q_{re} – energia calorífica associada à água de reposição no tanque, em Joules [J].

Para a manutenção das condições internas do ar da nave, o balanço energético é dado pela expressão (8):

$$Q_c + Q_{cob} + Q_{par} + Q_{env} - I_{rad} \pm Q_{vent} = 0 \quad (8)$$

O balanço energético para manutenção da temperatura da água do tanque é dado pela expressão (9):

$$Q_{re} = Q_{evap} + Q_c - I_{rad} \pm Q_{rad} \pm Q_{conv} \quad (9)$$

2.7.1 Evaporação em piscinas interiores

A evaporação de água abaixo do ponto de ebulição é um fenómeno característico de piscinas cuja compensação de perdas associadas tem grande peso na fatura energética, na ordem dos 50 a 60% (Cardoso et al., 2018; Lund, 2000).

Numa superfície de água, uma camada fina de ar em contacto com a água fica saturada rapidamente devido a movimento molecular. Para uma superfície não perturbada, o processo de evaporação dá-se por difusão molecular, caracteristicamente lento.

Na existência de correntes de ar próximas da superfície, a camada saturada de ar é deslocada e reposta com o ar relativamente seco do espaço e provoca um exacerbamento da evaporação. O movimento de ar pode dever-se a (Shah, 2012):

- Diferenciais de massa volúmica de ar, com ascendência de ar saturado (menor massa volúmica), e reposição de com ar seco (maior massa volúmica). Normalmente caracterizado como ventilação natural, devido a efeitos de convecção.
- Sistemas de ventilação, com a utilização de ventiladores para garantir a renovação e circulação do ar no espaço. É normalmente caracterizado como ventilação forçada, devido à utilização de equipamentos mecânicos de ventilação.

O movimento de ar em piscinas interiores poder-se-á dar numa das duas formas descritas, dependendo do período diário. É expectável que a ventilação forçada prevaleça no período diurno, com maiores necessidades de renovação de ar devido à agitação de água e necessidade de manter condições de QAI mais restritas. A ventilação natural deverá prevalecer no período noturno, quando as necessidades de ventilação forçada não deverão ser tão pronunciadas.

2.7.1.1 Equações para cálculo de taxas de evaporação

A presença ou não de nadadores, níveis de atividade assim como flutuações dos valores de velocidade do ar à superfície de água dificultam a geração de equações representativas e compreensivas do fenómeno de evaporação em piscinas interiores (Lund, 2000).

(Shah, 2012) compila vários estudos referentes a evaporação em piscinas assim como a formulação das suas próprias equações. Este mesmo estudo aponta, no contexto de piscinas interiores, a divisão das equações regentes de evaporação em Piscinas Interiores Não Ocupadas e Piscinas Interiores Ocupadas.

2.7.1.1.1 Piscinas Interiores Não Ocupadas

A estimativa da taxa de evaporação em piscinas não ocupadas é dada pelas equações (10) e (11), abaixo. A equação (10) representa a evaporação devida a convecção natural, derivada de equações regentes de transferência de calor e massa. A equação (11) é resultado de dados experimentais. O valor a tomar como estimativa mais aproximada do valor real é o maior das duas.

$$E_0 = 35 \rho_w (\rho_r - \rho_w)^{\frac{1}{3}} (W_w - W_r) \quad (10)$$

$$E_0 = 0,00005 (p_w - p_r) \quad (11)$$

onde:

E_0 – taxa de evaporação de água por unidade de área, em $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;

ρ_w – massa volúmica de ar saturado à temperatura da água, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

ρ_r – massa volúmica de ar interior, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

W_w – humidade absoluta do ar saturado à temperatura da água, em kg de vapor de água/ kg de ar seco;

W_r – humidade absoluta do ar interior, em kg de vapor de água/ kg de ar seco;

p_w – pressão parcial de vapor de água no ar saturado à temperatura da água, em Pa;

p_r – pressão parcial do vapor de água no ar interior, em Pa.

A pressão de saturação do vapor de água - p_w - é dada em função da temperatura da absoluta da água segundo a equação (14) (Mangold et al., 1983).

$$\ln p_w(T_{\text{água}}) = \frac{C_1}{T_{\text{água}}} + C_2 + C_3 T_{\text{água}} + C_4 T_{\text{água}}^2 + C_5 T_{\text{água}}^3 + C_6 \ln T_{\text{água}} \quad (12)$$

Onde:

$T_{\text{água}}$ - temperatura da água da piscina, em $K = ^\circ C + 273,15$.

$$C_1 = -5,8002206 \times 10^3$$

$$C_2 = 1,3914993$$

$$C_3 = -4,8640239 \times 10^{-2}$$

$$C_4 = 4,1764768 \times 10^{-5}$$

$$C_5 = -1,4452093 \times 10^{-8}$$

$$C_6 = 6,5459673$$

2.7.1.2 Quantificação de perdas energéticas por evaporação

A parcela Q_{evap} correspondente a perdas por evaporação de água - é calculada através da massa de água evaporada e a entalpia de vaporização da água, à temperatura ambiente, equação (13).

$$Q_{\text{evap}} = E_0 \times A_{\text{piscina}} \times E_{\text{vap}} \times t \quad (13)$$

Onde:

A_{piscina} - área de superfície de piscina, em m^2 ;

E_{vap} - entalpia de vaporização, em $Wh \cdot kg^{-1}$;

t - tempo, em s ;

2.7.1.3 Norma NP 4448:2007

A norma NP 4448:2007 apresenta a metodologia para o cálculo da carga térmica de aquecimento de água da piscina.

As equações desta norma para cálculo das perdas energéticas por evaporação, radiação, convecção e água de reposição pelas equações (14), (15), (16) e (17), respetivamente.

$$q_e = (5,64 + 5,96 \times v_s \times (p_w - p_r)) \times 10^{-3} \quad (14)$$

Onde:

q_e - perdas térmicas por evaporação, em $MJ \cdot dia^{-1} \cdot m^{-2}$;

v_s - velocidade do ar junto ao plano de água, em $m \cdot s^{-1}$.

$$q_r = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times \varepsilon_w \times \sigma \times (T_{\acute{a}gua}^4 - T_s^4) \quad (15)$$

Onde:

q_r – perdas térmicas por radiação, em $\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;
 ε_w – emitância de grande comprimento de onda, de valor 0,95;
 σ – constante de Stefan-Boltzmann, de valor $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{m}^{-2}$;
 T_s – temperatura das paredes do edifício envolvente das piscinas, em K.

$$q_c = \frac{24 \times 3600}{10^6} \times (3,1 + 4,1 \times v_s) \times (T_{\acute{a}gua} - T_a) \quad (16)$$

Onde:

q_c – perdas térmicas por convecção, em $\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;
 T_a – temperatura do ar, em K.

Se a temperatura da água de compensação (fresca) diferir significativamente da temperatura da água da piscina, as perdas associadas à compensação são dadas por:

$$q_{mku} = m_{evap} \times c_p \times (T_{mku} - T_{\acute{a}gua}) = \frac{q_e}{h_{fg}} \times c_p \times (T_{mku} - T_{\acute{a}gua}) \quad (17)$$

Onde:

q_{mku} – perdas térmicas associadas à compensação, em $\text{J} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;
 T_{mku} – temperatura da água de compensação da rede, em K;
 m_{evap} – taxa de evaporação de água, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$;
 c_p – calor específico da água a pressão constante, em $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
 h_{fg} – calor latente de evaporação da água, em $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2.7.2 Minimização de perdas de evaporação

A fundo cinzento na [Tabela 6](#) estão indicadas as temperaturas do ar da nave necessárias para minimizar as perdas por evaporação para as condições de humidade relativa e para as temperaturas da água das piscinas estabelecidas no RSTPUP. O raciocínio para a obtenção dos valores é apresentado no anexo [6.9](#).

Os valores de temperatura obtidos para minimização são significativamente elevados e não respeitam os valores recomendados.

A redução de perdas por evaporação poderá acarretar perdas pela envolvente elevadas e a instalação de baterias de aquecimento de ar de grande capacidade, possivelmente contraproduzivas economicamente. No entanto, permite a redução da energia necessária à desumidificação do ar da piscina assim como da energia associada à reposição da água evaporada (perdas mássicas e energéticas pelo processo de evaporação).

Tabela 6 – Temperatura do ar da nave minimizadora de perdas por evaporação para as condições de minimização

	Temperatura piscina (°C)	HR: 40%	HR: 50%	HR: 60%	HR: 70%	HR: 80%
Condição $\rho_r - \rho_w$	28	43,8	39,8	36,6	33,9	31,7
	29	44,9	40,9	37,6	35,0	32,7
	30	46,2	42,1	38,9	36,2	33,9
Condição $W_w = W_r$ $p_w = p_r$	28	44,7	40,5	37,1	34,3	31,9
	29	45,9	41,6	38,1	35,3	32,9
	30	47,2	42,8	39,4	36,5	34,1

2.8 Soluções de redução de consumos energéticos

As soluções para redução de consumos energéticos revolvem-se em torno de aumento da resistência térmica da envolvente construtiva, soluções de controlo adaptativas e substituição ou melhoria de eficiência de equipamentos. (LEITAT & SEA, 2014) aponta as soluções mais frequentemente utilizadas, listadas abaixo:

- Isolamento térmico nas paredes externas, pavimento e cobertura e das tubagens do circuito térmico;
- Termostatos programáveis;
- Iluminação LED e controlo *switch off lights* – sensores de presença;
- Cobertura de plano de água;
- Substituição por desumidificador de alta eficiência;
- Aquecimento da água de renovação com a água da piscina removida;
- Aquecimento da água de piscinas com água quente dos banhos rejeitada;
- Substituição das bombas existentes por bombas mais eficientes;
- Substituição de janelas e portas termicamente ineficientes por janelas de vidro duplo com vidro exterior de baixa emissão;
- Melhorias de recuperação de calor em bombas de calor/ unidades de desumidificação;
- Melhorias de eficiência de ventilação através da substituição total ou parcial das unidades de ventilação;

Os coletores solares são frequentemente propostos como uma medida de redução de custos de exploração e não de consumos dado que a utilização destes permite satisfazer parcial ou totalmente as necessidades de aquecimento de água de piscinas recorrendo a energia solar, não diminuindo efetivamente os consumos do edifício.

AUDITORIA ENERGÉTICA E PLANO DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA

3.1 Diagnóstico

3.2 Plano de racionalização de energia

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Diagnóstico

3.1.1 As instalações

O complexo desportivo alvo de estudo é o Clube de Propaganda de Natação (CPN) situado em Ermesinde, Porto, inaugurado no dia 20 de março de 1999. É constituído por uma nave com duas piscinas aquecidas cobertas, um pavilhão polivalente, dois ginásios, um salão e várias outras salas.

O período de funcionamento do clube é de segunda a sexta-feira das 8h00 às 22h30, e aos sábados das 8h00 às 19h00, num total de 83,5 horas semanais.

O edifício está inserido numa zona urbana, delimitado a Este por uma linha de comboio, a Sul pelo Pavilhão Desportivo de Ermesinde, a Oeste por uma estação de serviço e a Norte por edifícios de habitação.

O CPN é composto por 6 níveis. A área de planta do edifício é de, aproximadamente, 2200 m² – com exclusão tanques de compensação e parque de estacionamento exterior.

Grande parte das atividades principais do edifício concentram-se ao nível (1: Rés-do-chão) onde se encontra o ginásio, pavilhão polivalente, receção, balneários e piscinas. No primeiro nível (0: Cave) estão localizados os equipamentos de tratamento e bombagem de água, os equipamentos de tratamento de ar da nave e o sistema de produção e distribuição de energia.

Os valores de temperatura da água das piscinas são medidos por funcionários três vezes por dia e registados no livro oficial de registo previsto no RSTPUP. Para os anos de 2018 e 2019, a temperatura média registada para a piscina de maiores dimensões era de 28°C com máximas oscilações de $\pm 0,1^\circ\text{C}$; a piscina de aprendizagem apresenta temperatura mediana de 30,5°C com oscilações máximas de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

3.1.2 Histórico

Com o passar do tempo, devido a deterioração e mau funcionamento dos equipamentos e erros de projeto, o CPN viu-se forçado a renovar o sistema de distribuição de energia para aquecimento.

Os responsáveis do clube concluíram que as perdas energéticas resultantes do grande comprimento de tubagem não isolada entre a casa de máquinas anterior, situada no sexto piso, e os equipamentos de permuta de calor situados na cave, eram elevadas pelo que foi reconstruído um sistema semelhante no piso da cave.

Os sistemas de produção de calor terão também sofrido alterações, sendo as três caldeiras iniciais presentes na casa de máquinas anterior substituídas por duas caldeiras de condensação de 200 kW, as quais foram substituídas pela caldeira de condensação atual de 300 kW em janeiro de 2018.

3.1.3 Utilização do complexo

O número total de visitas registadas em 2018 é de 33623, para um número de clientes inscritos de 1087, traduzindo-se numa média diária de 109 clientes.

As [Figura 6](#) e [Figura 7](#) demonstram a evolução mensal de visitas registadas prestadas e decomposição semanal do número total de utilizadores em 2018, respetivamente.

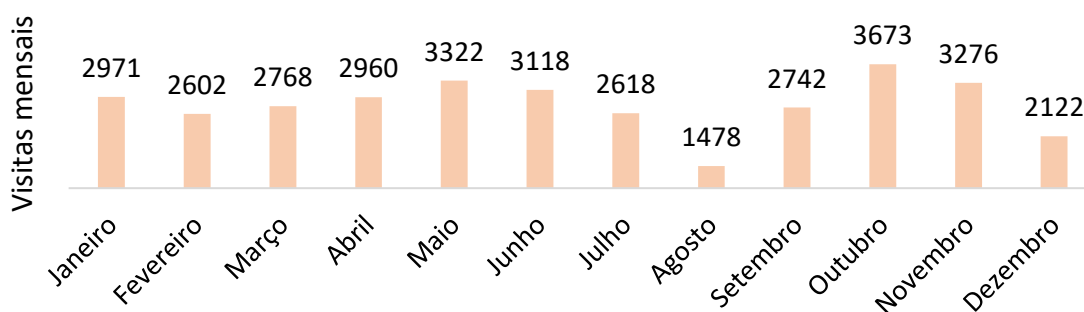


Figura 6 - Número de visitas registadas por mês

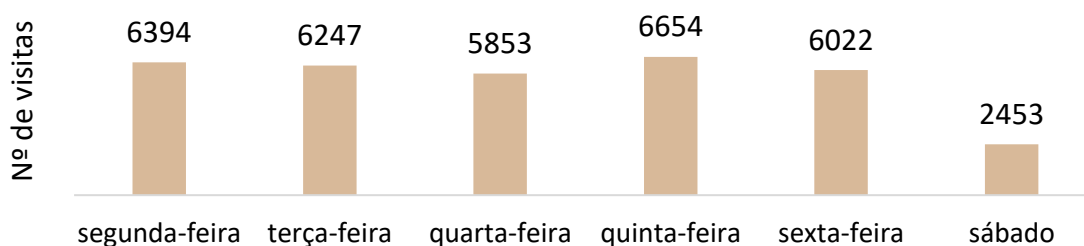


Figura 7 - Visitas registadas por dia da semana

3.1.4 Consumos e custos

No âmbito da análise dos consumos de recursos do CPN, foram obtidas as faturas de energia elétrica e de gás natural dos 3 anos anteriores a 2019. Para ambas as energias térmica e elétrica, a empresa fornecedora é a Galp Power, S.A. No caso do consumo de água, apenas foram conseguidos dados completos de 2018.

3.1.4.1 Consumos e custos de energia anuais

Os custos e consumos anuais relativos às componentes elétrica e de gás natural são apresentados nas [Figura 8](#) e [Figura 9](#), respetivamente. Embora o consumo de energia elétrica útil seja muito menor que o consumo de energia térmica, na ordem de grandeza de 3 a 4 vezes menor, os **custos** anuais refletem uma realidade muito mais equilibrada por natureza de custo unitário. A maior diferença percentual entre as duas parcelas de custos de 26% regista-se no ano de 2018 e a menor diferença de 6 no ano de 2017.

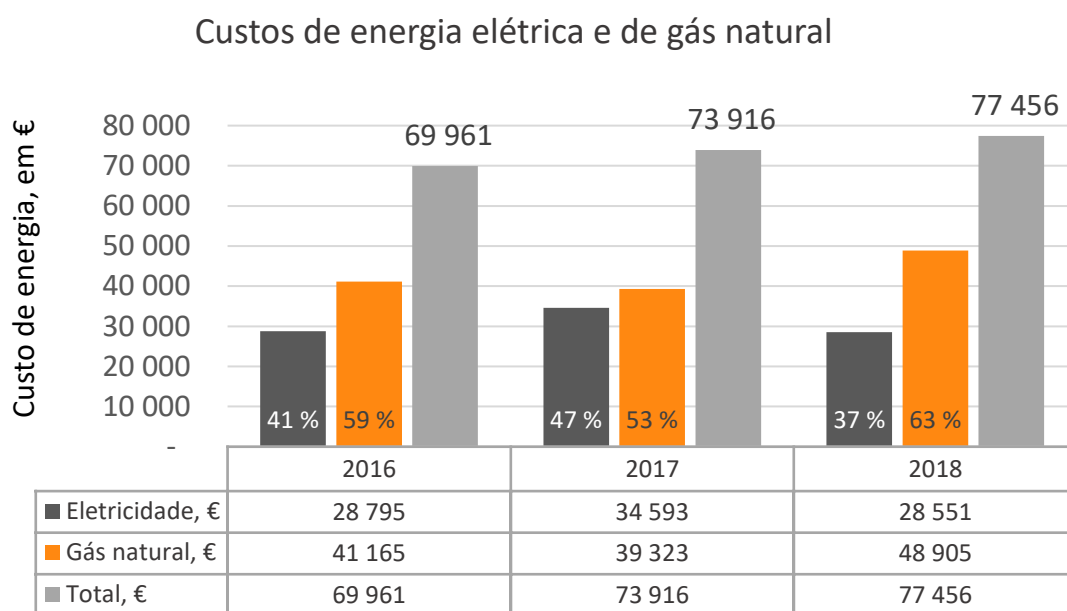


Figura 8 - Custos de energia elétrica ativa e de gás natural

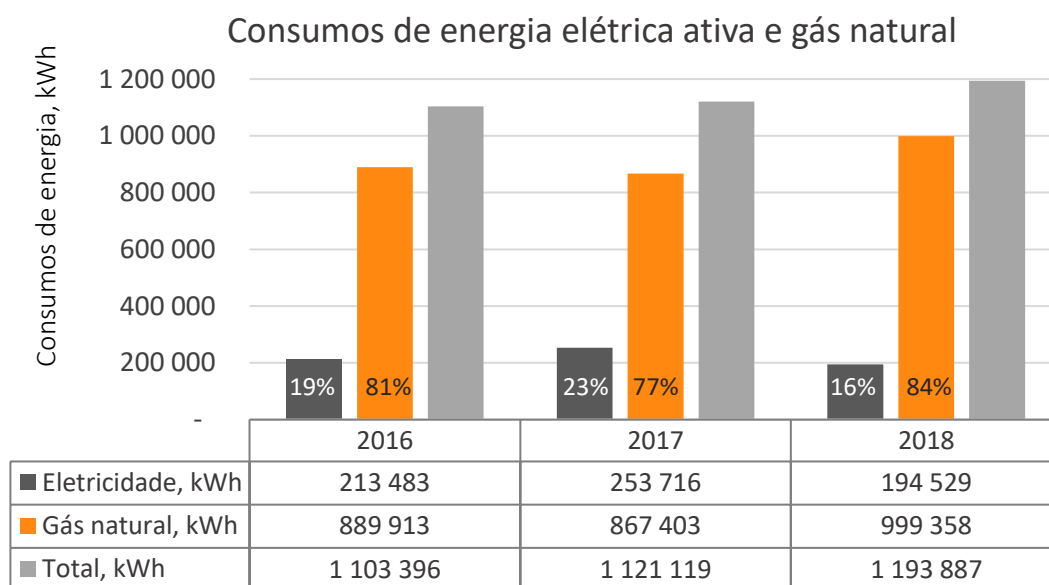


Figura 9 - Consumos de energia elétrica ativa e gás natural

3.1.4.2 Energia elétrica

A informação relativa às faturas de energia elétrica está condensada sob a forma de tabela nos anexos 6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3. O contrato à data de março de 2019 aponta as características descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características do contrato

Tarifa contratada	Média Tensão – Tetra-horária		
Ciclo	Semanal com feriados		
Potências	Instalada	Requisitada	Contratada
	250 kVA	116,25 kVA	116,25 kVA

3.1.4.2.1 Energia elétrica ativa

A Figura 10 indica os consumos de energia elétrica ativa dos anos 2016, 2017 e 2018 com respetiva decomposição mensal tabelada. De entre os três anos analisados, o consumo de energia elétrica de 2017 é cerca de 15% superior à média, com valores geralmente maiores ao longo do ano, com exceção de dezembro durante o qual se registou o menor valor dos três anos respetivo a este mês.

Os consumos de energia elétrica observados tendem a ser maiores nos meses de inverno devido, possivelmente, a maiores necessidades de iluminação por carência de iluminação natural e ainda de uma maior necessidade de climatização da nave – ventiladores accionados eletricamente.

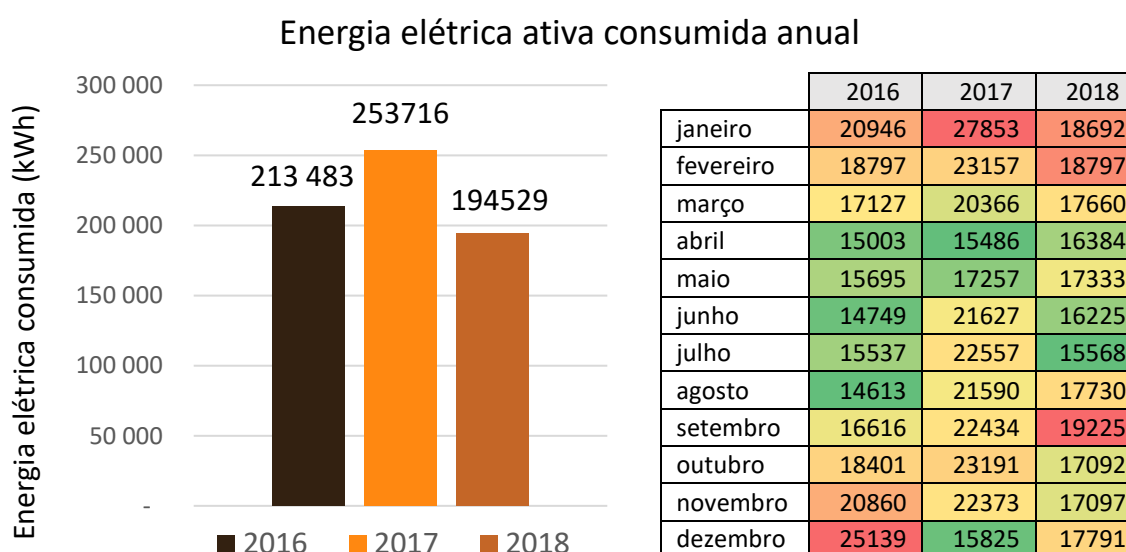


Figura 10 - Consumo de energia elétrica ativa anual e respetiva decomposição mensal

3.1.4.2.2 Energia elétrica reativa

A energia reativa em período de vazio faturada anual e respetiva decomposição mensal tabelada é apresentada na [Figura 11](#).

A faturação de energia reativa no ano de 2017 é bastante menor que os restantes 2 anos, o que contrasta ainda com o maior consumo de energia ativa dos 3 anos de estudo. Os meses de abril, maio e dezembro desse ano apresentam os maiores valores de energia reativa, sendo também os meses com menor consumo de energia ativa. A faturação nestes meses poder-se-á dever ao facto de a energia reativa ser faturada apenas para valores de fator de potência - $\cos \varphi$ - baixos e dados os menores consumos de energia ativa, menor o fator de potência (para os mesmos valores de energia reativa).

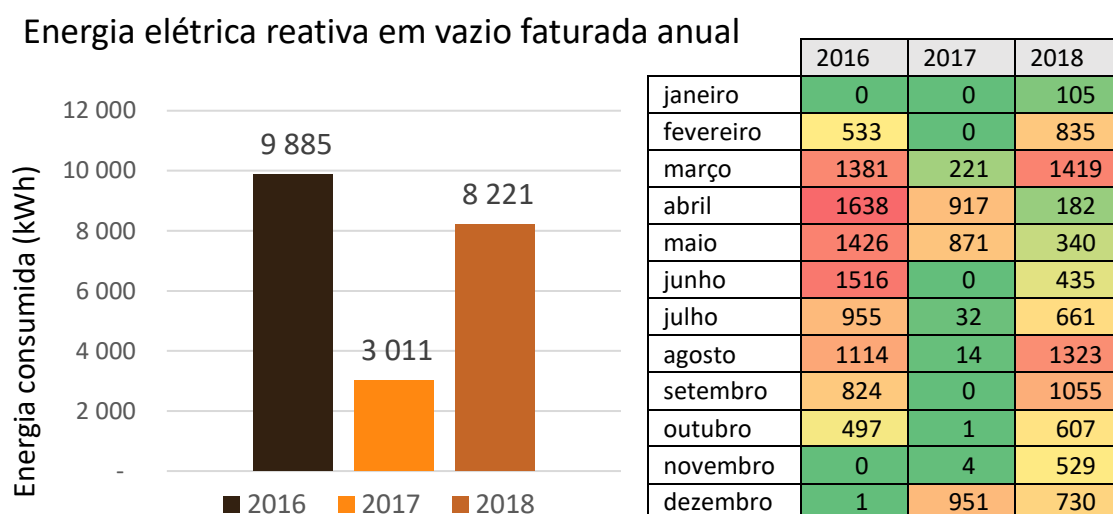


Figura 11 - Valores de energia elétrica em vazio anual faturada e respetiva decomposição mensal

3.1.4.3 Energia térmica – Gás Natural (GN)

A [Figura 12](#) apresenta os consumos anuais e respetiva decomposição mensal tabelada. O consumo nos anos de 2016 e 2017 foi semelhante, com um crescimento de 15% de 2017 para 2018, o qual contrasta com o decréscimo de 24% de energia elétrica na transição equivalente. Existe também uma aparente relação sazonal de consumo de energia térmica, resultado expectável das flutuações de temperatura ao longo do ano e respetivas flutuações de necessidades de aquecimento. Para todos os anos, o maior consumo mensal é duas ou mais vezes maior que o menor consumo mensal.

O padrão de consumo de energia de 2018 com forte dependência sazonal foi comparado com o número de graus-dia de aquecimento mensais para uma temperatura de 28,5°C – [Figura 13](#).

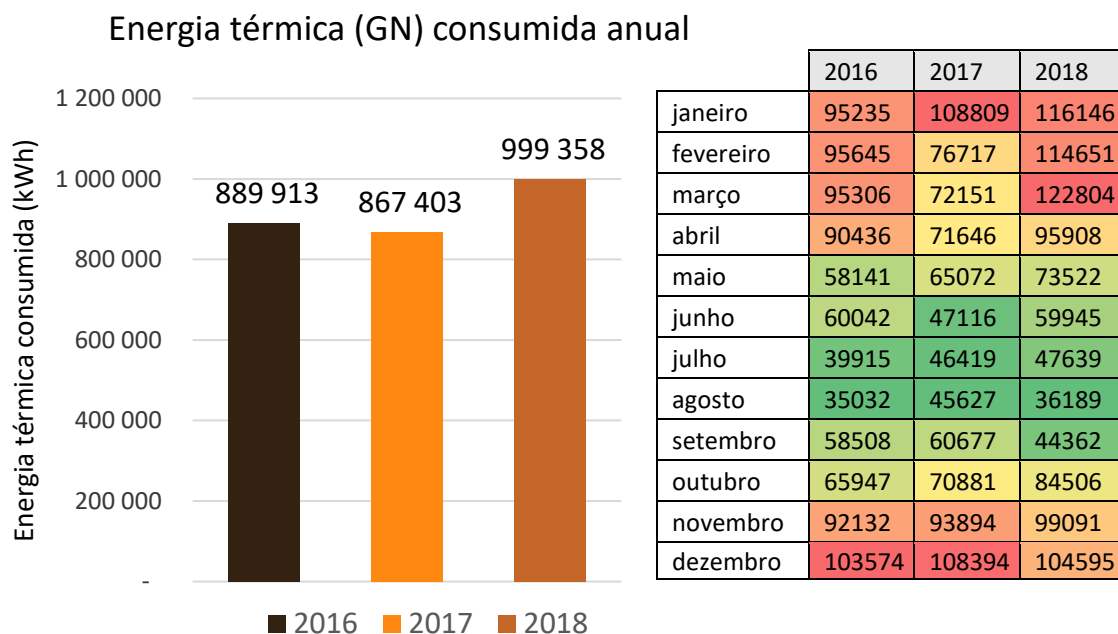


Figura 12 - Consumo de energia elétrica anual (Gás Natural)

É possível observar uma evidente relação entre as variáveis embora os meses de verão não apresentem tão forte relação como os restantes meses. Isto poder-se-á dever a uma menor frequência de utentes durante estes meses – consumos de AQS menores – e a temperaturas de água de reposição (proveniente da rede pública) mais altas, o que resulta numa redução dos consumos associados a esta parcela do aquecimento de água das piscinas. O contrário desta proposição aplica-se aos meses frios.

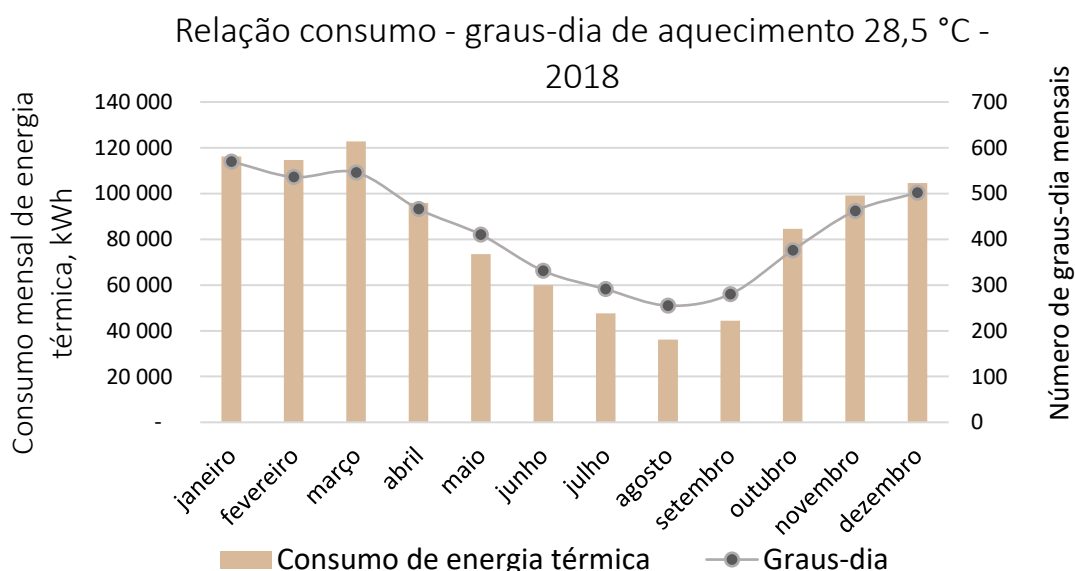


Figura 13 - Comparação da evolução mensal do consumo de energia térmica e o número de graus-dia mensal

Numa tentativa de quantificar o grau de relação, os dados de consumo de energia térmica mensal dos últimos dois anos – não foi possível obter o número de graus-dia para o ano de 2016 – foram contrapostos com os números de graus-dia mensais (BizzEE, 2019) respetivos, [Figura 14](#). É também necessária a ressalva que a estação meteorológica da qual foram obtidos os dados de número de graus-dia é de Pedras Rubras, Aeroporto Sá Carneiro, e não especificamente de Ermesinde – local de estudo – tentando-se nesta comparação apenas dar a conhecer o grau de correlação e não o valor específico.

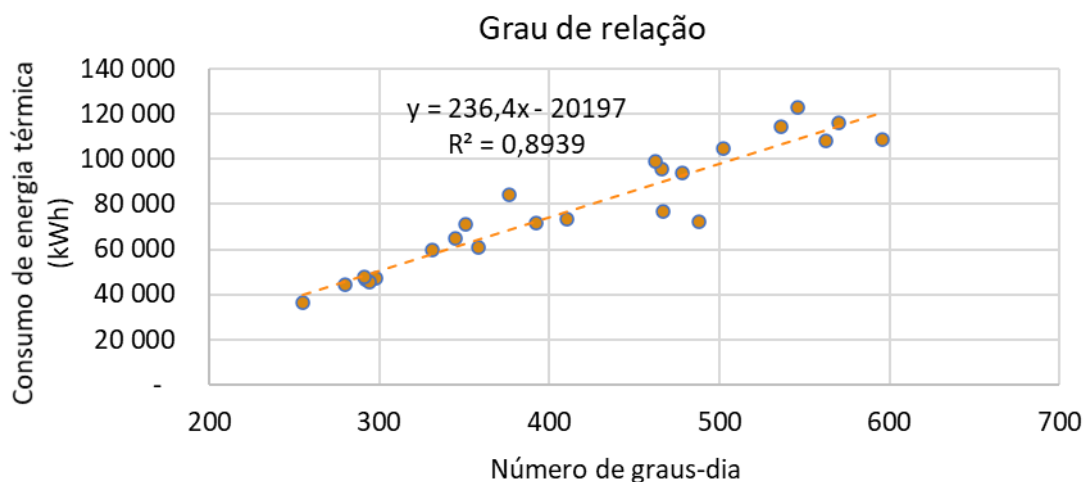


Figura 14 - Grau de relação entre consumo de energia térmica e número de graus-dia

3.1.4.4 Comparação dos custos unitários de energia

Foram calculados os custos mensais unitários das duas fontes de energia e representados graficamente a sua evolução na [Figura 15](#).

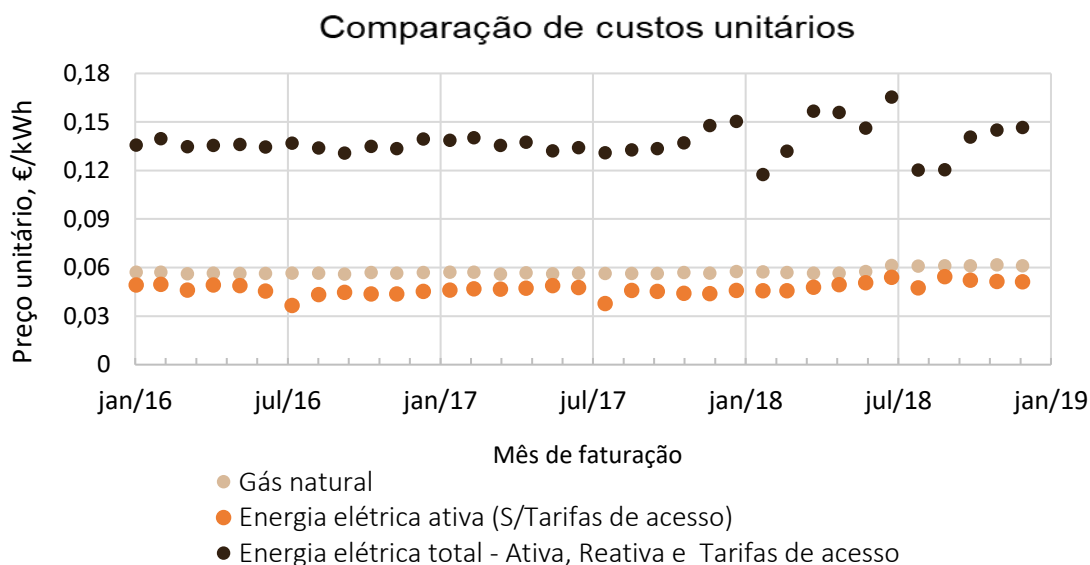


Figura 15 – Evolução dos custos unitários de energia térmica e energia elétrica

O custo unitário de gás natural apresenta oscilação suave e um valor médio trianual de 0,0469 €/kWh.

O custo de energia ativa, sem quaisquer tarifas de acesso associadas, é praticamente constante de valor médio 0,0574 €/kWh.

Para os primeiros 2 anos de estudo, o custo unitário final (valor final faturado) de eletricidade é também ligeiramente flutuante com um valor médio de 0,136 €/kWh.

No último ano de estudo, existe uma grande oscilação de custo unitário. Após revisão das faturas, dado que não se poderia atribuir a oscilação observada à faturação de energia reativa em vazio (valores superiores de energia reativa em vazio de 2016 contradizem a proposição), notou-se valores altos de faturação de energia reativa segundo escalão FV Escalão 3, quase inéditos ao ano de 2018.

3.1.4.5 Consumo de água

O consumo de água em CPI deve-se maioritariamente à reposição de água evaporada, água para banhos e a água fresca, proveniente da rede pública ou de outra fonte desde que segura para o efeito, como enunciado no RSTPUP.

O CPN consome água da rede pública para satisfação das suas necessidades, tendo como empresa fornecedora a Be Water, S.A – Águas de Valongo. A contagem é efetuada quadrimestralmente e a faturação é efetuada mensalmente. Dado o período de contagem ser quadrimestral, são apresentados os valores volumétricos de contagem assim como valores de consumo diário estimado, com início em julho de 2017 e final em julho de 2019, na [Figura 16](#).

A faturação relativa ao consumo de água entre finais de dezembro de 2017 e de 2018 é de 3733 euros. A faturação relativa ao saneamento para o mesmo período corresponde a 1967 euros. A soma destas parcelas corresponde a 90% da faturação, sendo os restantes 10% relativos a Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e a IVA.

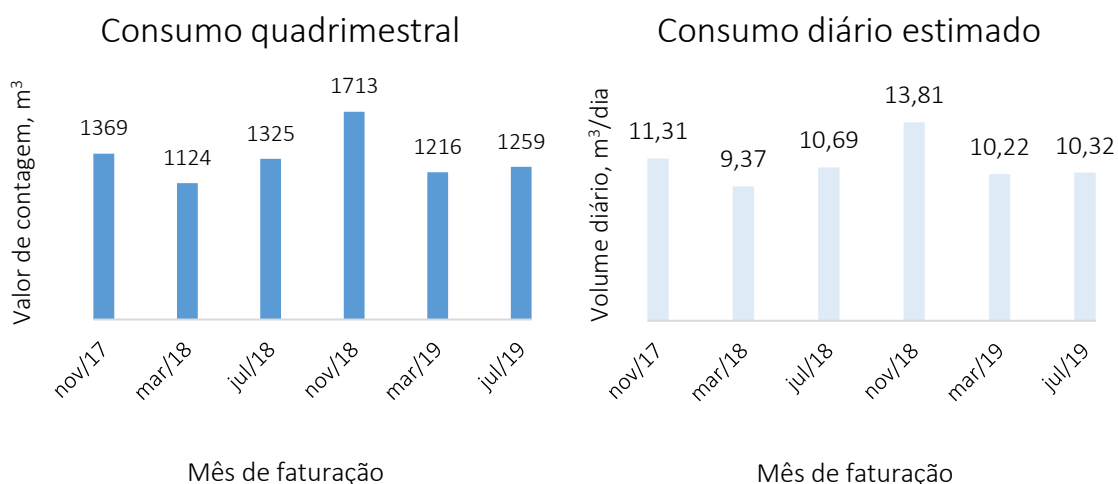


Figura 16 - Consumo quadrimestral de água (esquerda) e consumo diária estimado (direita)

3.1.5 Benchmarking

O cálculo de IPE e respetiva comparação com os valores da literatura são um dos passos na determinação da eficiência energética geral do edifício, ainda que com as ressalvas de que não se poderá obter conclusões abrangentes dadas as particularidades de cada edifício. No entanto, valores bastante superiores serão indicações de más práticas ou erros e falhas de projeto. A [Tabela 8](#) apresenta os IPE AC e AP, por fonte de energia.

Tabela 8 - IPE do CPN

Ano	Energia	AC - kWh/m ² 2200 m ²	AC - kgep/m ² 2200 m ²	AP - kWh/m ² 521 m ²	AP - kgep/m ² 521 m ²
2016	Gás Natural	405	34,8	1708	146,9
	Eletricidade	97	8,3	410	35,3
	Total	502	43,2	2118	182,1
2017	Gás Natural	395	34,0	1665	143,2
	Eletricidade	115	9,9	487	41,9
	Total	510	43,9	2152	185,1
2018	Gás Natural	454	39,0	1918	165,0
	Eletricidade	97	8,3	374	32,2
	Total	542	46,6	2292	197,1
Média trianual		518	44,6	2187	188,1

O CPN apresenta valores de consumos específicos concordantes com os valores da literatura apresentados na [Tabela 4](#). É de notar que os valores para o critério AP são inferiores em cerca de 13 - 16% relativamente à média aos valores apresentados em dissertações de CPI portuguesas. É necessário, no entanto, compreender que também estas dissertações têm como foco a eficiência energética de CPI e, desde logo, é presumível que são também estabelecimentos com necessidades de melhorias.

3.1.6 Medições em campo

Para melhor apreender as condições de funcionamento do CPN, foram conduzidas, no período de 13 de fevereiro (quinta-feira) a 21 de fevereiro (sexta-feira), medições assim como o levantamento de informação de equipamentos e contadores.

Foram conduzidas medições às condições da nave, para melhor compreensão do funcionamento do clube e como dados para posteriores cálculos, modelação e simulação energética do edifício.

O CPN albergou, extraordinariamente, uma competição de polo aquático na parte da manhã do domingo respetivo ao período de medições.

3.1.6.1 Leituras de contadores

São apresentados nas [Tabela 9](#), [Tabela 10](#) e ainda no anexo [6.6](#), os valores observados em contadores de consumo de gás natural, água e energia elétrica, respetivamente.

Tabela 9 - Valores de leitura do contador de gás natural

Contador de gás natural			
Data de medição	Intervalo entre levantamentos (horas)	Valores visíveis (m ³)	Consumo médio por hora calculado – (m ³ /h)
Dia 14 - 10:40		192834	
Dia 17 - 16:20	77,67	193458	8,03
Dia 18 - 12:40	20,33	193640	8,95
Dia 21 - 13:25	72,92	194435	10,90

O consumo de GN entre os dias 14 e 18 de fevereiro, utilizando o valor de conversão aproximado de 11,90 kWh/m³, como enunciado em prévias faturas, é de **9591,4 kWh** (78% do consumo de energia total do edifício).

O consumo horário de GN médio é 35% maior durante o período de utilização, de 18 a 21 de fevereiro, que no período de fim de semana.

Tabela 10 - Valores de leitura do contador de água

Contador de água			
Data de medição	Intervalo de tempo entre levantamentos (horas)	Valores visíveis (m ³)	Consumo médio por hora calculado – (m ³ /h)
Dia 14 - 10:40		12960	
Dia 17 - 16:20	77,67	12991	0,40
Dia 18 - 12:40	20,33	13004	0,64
Dia 21 - 13:25	72,92	13058	0,74

Foi registado um valor de consumo de água em período de menor utilização (fim-de-semana) inferior em 45% ao valor registado para o período de 18 de fevereiro (terça-feira) a 21 de fevereiro (sexta-feira), indicador de que o consumo de água em banhos tem um peso significativo, dada a proposição que o clube recebe menos clientes durante o fim de semana, mesmo que albergando a competição de polo aquático.

3.1.6.2 Produção de energia

Dado que o consumo de energia térmica de gás natural aumentou consideravelmente no ano de 2018, ponderou-se que a caldeira substituta instalada no início desse mesmo ano, não estivesse a funcionar em condições ótimas – supondo-se que o aumento do número de clientes não foi significativo.

A caldeira de condensação, instalada em janeiro de 2018 como substituta de duas outras caldeiras de condensação de menor potência, apresenta também um visor interativo. Os valores lidos são apresentados na [Tabela 11](#) Figura .

Tabela 11 - Dados obtidos no visor da caldeira

Dados digitais da caldeira	Dia 13 9:20	Dia 14 8:54	Dia 17 16:08	Dia 18 12:40	Dia 21 13:25
Intervalo de tempo (h)	-	24	79	21	73
Horas de trabalho (h)	16967	16991	17070	17091	17164
Temperatura de fluido saída (°C)	60	60	58	60	60
Temperatura de fumos (°C)	52	52	48	52	54

Para a análise de correto funcionamento da caldeira e respetiva eficiência, foi utilizado um analisador de gases de combustão – ECOM J2KN. Os valores obtidos são apresentados na [Tabela 12](#). O valor de rendimento da caldeira enquadra-se nos valores da curva de rendimento do equipamento.

Tabela 12 - Dados obtidos pelo analisador de gases de combustão

Analisador de gases de combustão	Dia 13 – 10:00
Temperatura do ar circundante (°C)	21
Temperatura dos gases (°C)	50
Percentagem de O2 (%)	16,9
Percentagem de CO2 (%)	2,3
Rendimento (%)	95,1
Perdas (%)	4,9
Excesso de ar	5,12
Temperatura de orvalho (°C)	33
Velocidade dos gases	0,2

3.1.6.3 Circulação de água

Para conhecimento dos valores de velocidade e caudal de água em circulação, foi utilizado um medidor de caudal ultrassónico. Apenas foi possível realizar medições no circuito principal de recirculação de água das piscinas, dado que, para as restantes tubagens relativas à circulação de água em permutador de calor, não existiria o comprimento de tubagem necessário à aplicação do medidor e dado que o circuito primário se encontra completamente coberto em isolamento, aplicado a novembro de 2019.

O medidor de caudal ultrassónico utilizado mede também a temperatura da água em circulação. São apresentadas as condições de medição na [Tabela 13](#), os valores medidos e comparação com os valores regulamentares segundo o ponto 16.5 do RSTPUP.

Tabela 13 – Condições de medição, variáveis medidas por caudalímetro ultrassónico e valores regulamentares

Data de medição: Dia 13 – 11:10		
Circuito	Piscina de competição	Piscina de aprendizagem
Tubagem - Ø	Pré-bombagem - 200 mm	Pré-bombagem - 160 mm
Temperatura (°C)	22	27
Bombas em funcionamento	1	2
Velocidade (m/s)	0,930	0,75
Caudal estimado (m³/h)	93,6	50,4
Caudal regulamentar (m³/h)	253	73

3.1.6.4 Ventilação e aquecimento de ar

As medições a caudal de ar foram efetuadas nos pontos pré-existent para fixação de sondas. A [Tabela 14](#) apresenta os valores das medições efetuadas. Não foi possível obter valores concordantes de velocidade para o ponto de medição na conduta de admissão de ar novo pelo que são apresentados os valores de temperatura, humidade relativa e a gama de valores de velocidade que o equipamento de medição registou. O cálculo do caudal de ar admitido recorre ao balanço mássico, detalhado no anexo 6.5.

A potência de aquecimento na unidade de desumidificação, para os caudais de ar registados, é de **30,6 kW**.

Tabela 14 - Medições e cálculo de caudais de ar

Data de medição – Dia 14 – 10:15			
Variável	Ar de retorno	Ar de insuflação	Ar de admissão
Temperatura - bolbo seco (°C)	29,4	35,8	17,5
Humidade relativa (%)	72,0	45,7	68,8
Pressão relativa (Pa)	9	16 Pa	-----
Velocidade média (m/s)	3,90	5,00	-----
Velocidade mínima (m/s)	2,90	4,91	0,5
Velocidade máxima (m/s)	4,8	5,6	1,5
Dimensão da conduta (mm)	1100 x 600		
Caudal (m³/h)	9266	11880	3006

3.1.6.5 Equipamentos elétricos

Na **Tabela 15** são apresentados os dados relativos à bomba de circulação do primário. A mesma apresenta visor interativo onde são apresentadas as características da bomba, as variáveis instantâneas de funcionamento e de valores acumulados. O número de horas de funcionamento coincide com o intervalo de tempo entre medições, indicativo de que a bomba esteve em contínuo funcionamento. O consumo acumulado da bomba é de **0,3% do consumo de energia elétrica** para o período de medições.

Tabela 15 - Dados obtidos no visor da bomba de circulação do circuito primário

Bomba de circulação de termofluido	Dia 13 9:20	Dia 14 8:54	Dia 17 16:08	Dia 18 12:38	Dia 21 13:24
Intervalo de tempo (h)	-	24	79	21	73
Temperatura de líquido (°C)	50	51	47	49	53
Horas de funcionamento (h)	18034	18058	18137	18158	18231
Potência à data (W)	67	67	79	78	61
Consumo acumulado (kWh)	1208	1210	1216	1217	1223
Caudal estimado (m ³ /h)	9,4	8,9	9,7	10,2	8
Altura manométrica (m)	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5

Os valores instantâneos dos principais equipamentos elétricos medidos em quadro elétrico no piso da cave e respetiva potência calculada são apresentados na **Tabela 16**. A potência total dos equipamentos combinados, obtida através de medições instantâneas é de 14,7 kW.

Tabela 16 - Medições instantâneas em quadro elétrico

Quadro elétrico - Dia 14 de fevereiro (09:00)							
Equipamento	Intensidade de corrente (A)			Tensão (V)			Potência (W)
BOMBA PERMUTADOR GRANDE BSP 1.2	1,42	1,43	1,43	406	405	405	1001,6
BOMBA PERMUTADOR PEQUENA BSP 2	0,84	0,84	0,84	405	405	405	589,2
BOMBA AQS - BDEP2	1,65	1,65	1,65	405	405	405	1157,4
VENTILADOR DE RETORNO - V.R.1	5,75	5,75	5,75	405	405	405	4033,5
UNIDADE DE DESUMIDIFICAÇÃO 1 - U.D.1	11,4	11,4	11,4	406	404	390	7898,2

Foi instalado no quadro elétrico ao qual se refere a [Tabela 16](#), nos três ramais principais, o analisador digital de qualidade de energia da marca FLUKE. O tempo de integração escolhido foi de 15 min, iniciando-se as medições pelas 9h00 do dia 13 de fevereiro e terminadas pelas 8h30 do dia 20 de fevereiro.

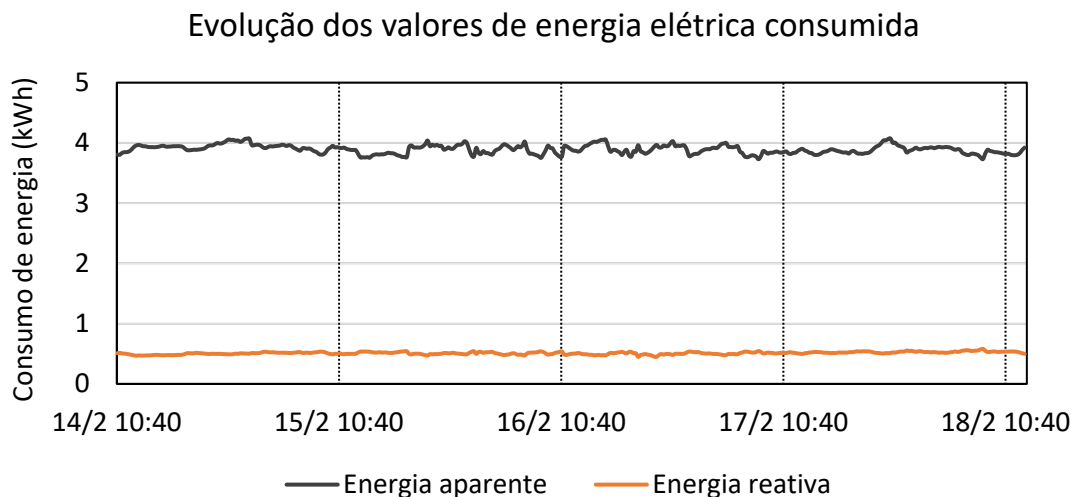


Figura 17 - Evolução dos valores de energia elétrica consumida nas suas parcelas, referente aos equipamentos da Tabela 14

A [Figura 17](#) apresenta os valores de energia consumida a cada período de 15 minutos. Apenas são apresentados os dados compreendidos entre o dia 14 e dia 18 para comparação com os valores em contador. Os equipamentos da [Tabela 16](#) consomem, a cada intervalo de 15 minutos, valores de energia compreendidos entre os 3,7 e 4,1 kWh. A energia reativa consumida para o período equivalente ronda os 0,5 kWh. O consumo total de energia ativa – [Figura 18](#) – corresponde a cerca de 56% da energia elétrica ativa total consumida – anexo 6.6 - pelo complexo para o período.

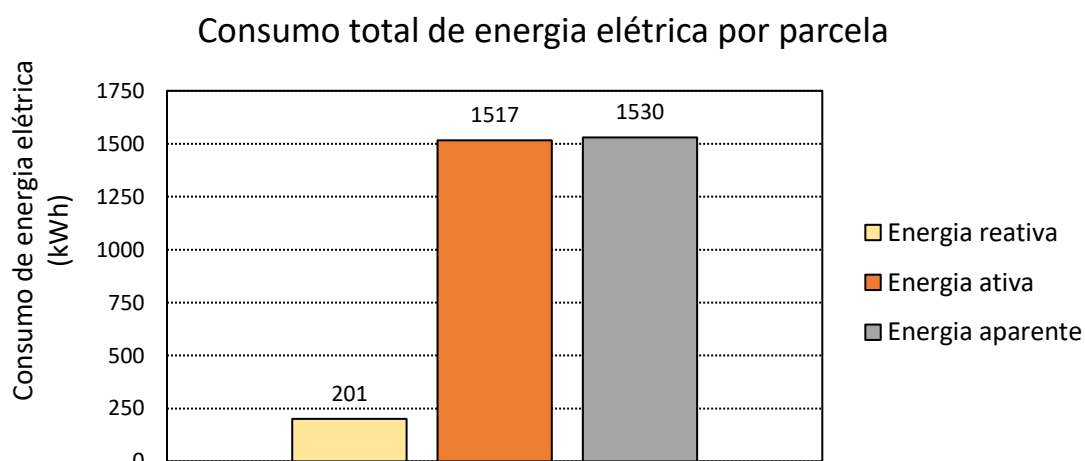


Figura 18 - Consumo de energia elétrica por parcela, referente aos equipamentos da Tabela 14

A potência média para o período de medições é de 15,57 kW.

Para o período de medições de 14 a 18 de fevereiro, o consumo de energia elétrica correspondeu a 22% do consumo total do edifício.

3.1.7 Condições internas da nave

Na tentativa de melhor apreender o controlo das condições do ar da nave foram conduzidas medições com o analisador de conforto térmico **DeltaOhm HD 32.3** entre as 10h30 de 13 de fevereiro e as 10h30 de 18 de fevereiro, com um tempo de integração de 1 minuto.

As três sondas utilizadas registaram os valores de velocidade, temperatura de bolbo seco e temperatura de bolbo húmido do ar no interior da nave assim como a temperatura de globo negro.

O equipamento calcula também os valores humidade relativa e temperatura radiante com os valores medidos das variáveis mencionadas.

O equipamento foi instalado no final da bancada de espetadores, a uma distância vertical de, aproximadamente, 1,5 metros do plano de água, local com acesso à tomada elétrica. A posição ideal implicaria uma menor distância vertical ao plano de água, a qual não seria possível por condições de segurança e prevenção de danos ao equipamento por utentes.

Os resultados do analisador de conforto térmico são apresentados nas [Figura 19](#), [Figura 20](#), [Figura 21](#), [Figura 22](#), [Figura 23](#) e [Figura 24](#).

A [Tabela 17](#) sumaria os valores médio, máximo e mínimo registados para cada variável.

Tabela 17 - Resumo dos dados obtidos pelo analisador de conforto térmico

Variável	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura de bolbo seco (°C)	27,07	28,8	24,9
Temperatura de bolbo húmido (°C)	24,09	25,7	22,0
Temperatura de globo negro (°C)	26,66	28,2	24,6
Temperatura radiante (°C)	26,45	28	24,4
Humidade relativa (%)	78,11	86,5	65,6
Pressão absoluta (Pa)	101201	102000	100870
Velocidade (m/s)	0,08	0,55	0,0

Evolução das variáveis de temperatura

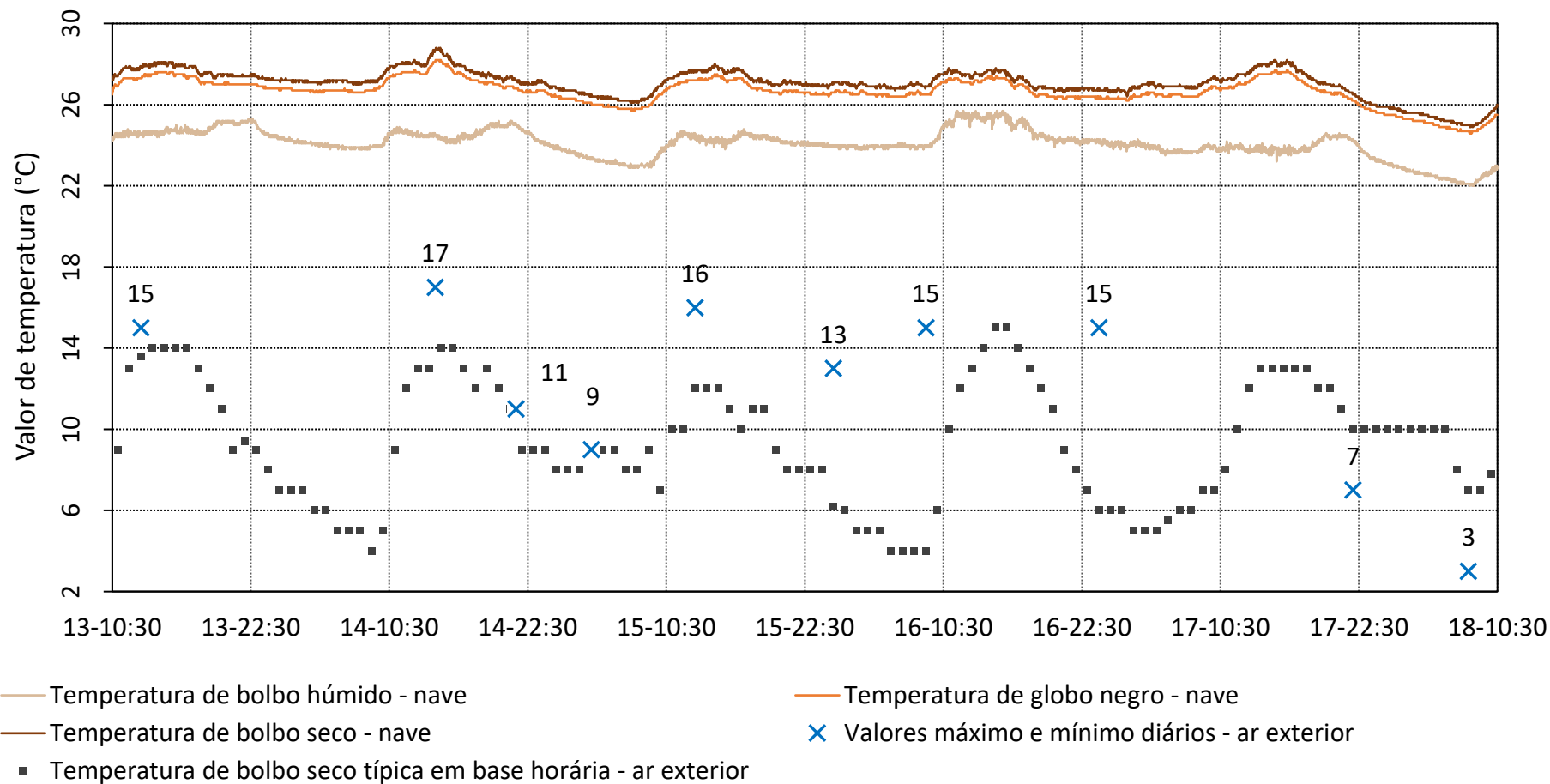


Figura 19 - Evolução das variáveis de temperatura para o período de medição

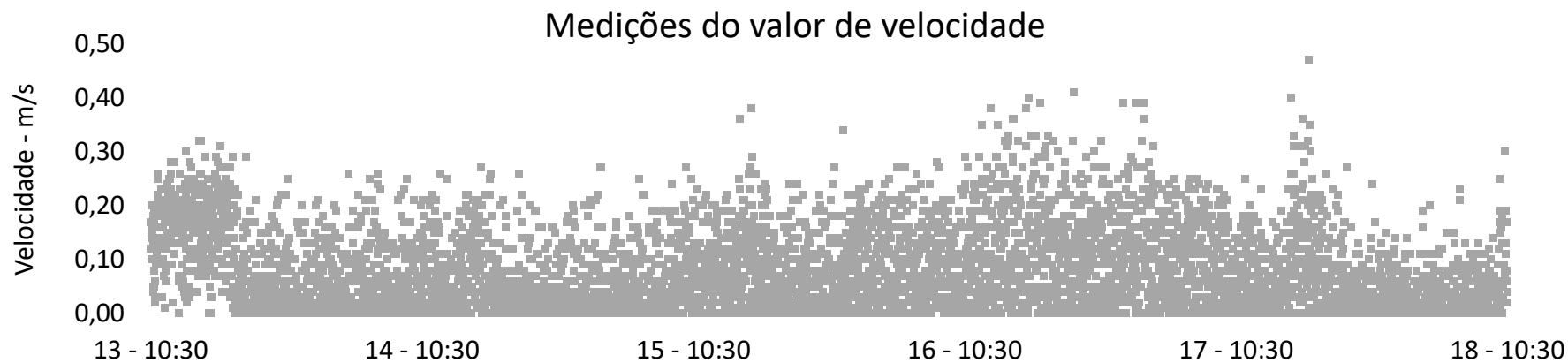


Figura 20 - Valores de velocidade registados para o período de medições

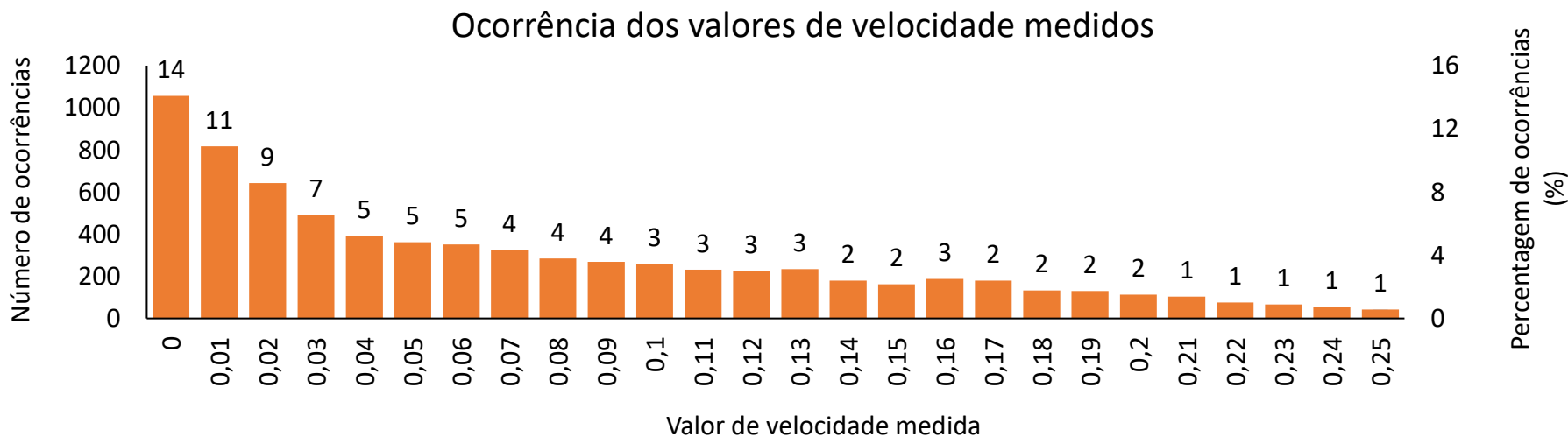


Figura 21 - Número de ocorrência por valor de velocidade e respetiva percentagem

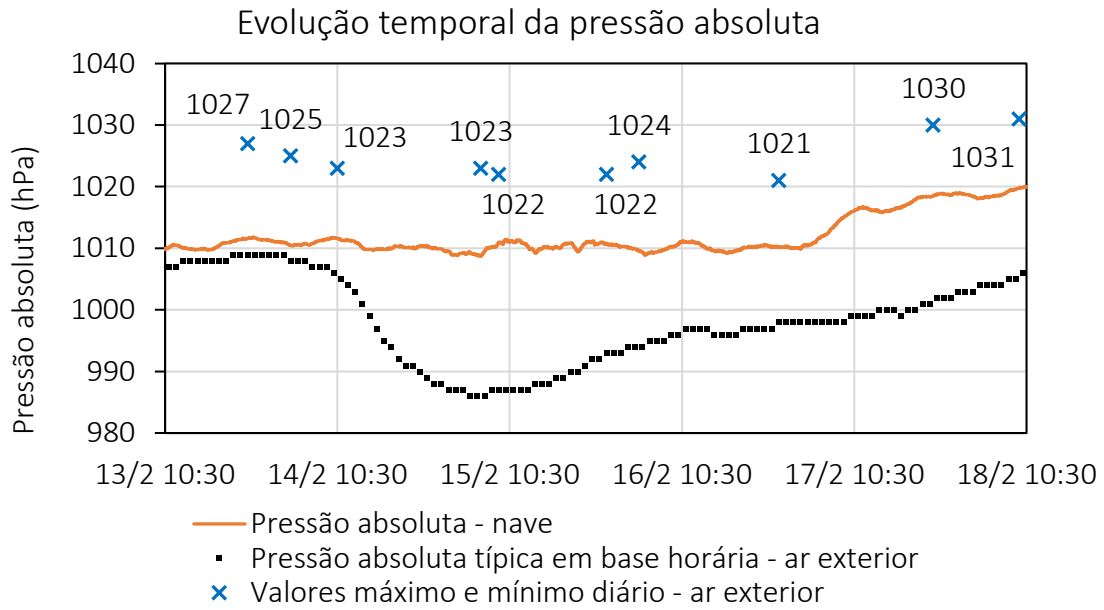


Figura 22 - Evolução das variáveis de pressão absoluta durante o período de medições

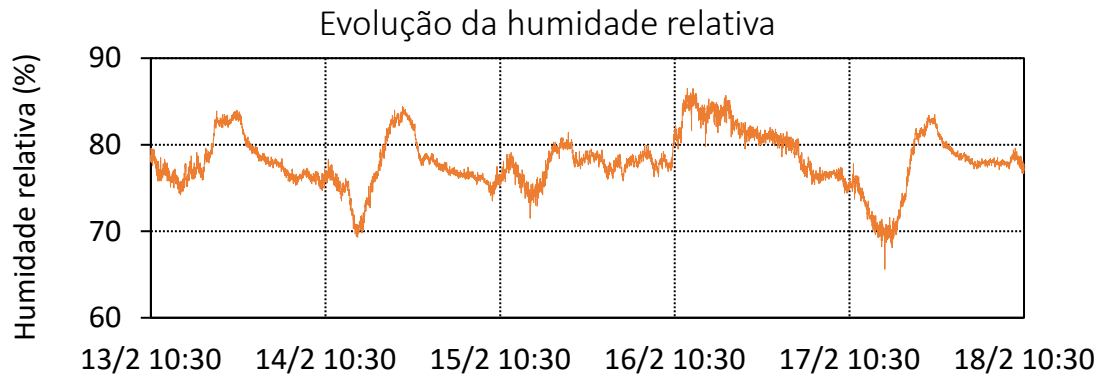


Figura 23 - Evolução dos valores de humidade relativa durante o período de medições

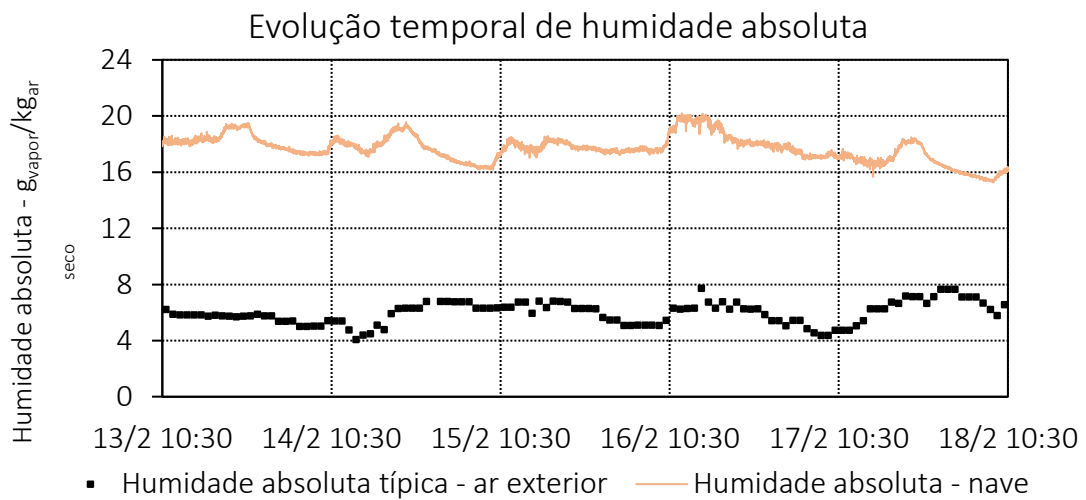


Figura 24 - Evolução das variáveis de humidade absoluta durante o período de medições

Na [Figura 19](#) é compilada a informação relativa à evolução das variáveis de temperatura obtidas pelo analisador para o período de medições, os valores de temperatura do ar exterior típicos para o mesmo período – obtidos no ficheiro disponibilizado no website oficial *EnergyPlus* referente à estação meteorológica do Aeroporto Sá Carneiro - e ainda os valores máximo e mínimo diários.

Os picos de temperatura de bolbo seco e globo negro ocorrem durante o início da tarde e os valores mínimos ocorrem durante o período da noite, acompanhando a evolução dos valores temperatura típicos. Para os dias onde se registou menores temperaturas de ar exterior, deram-se também as maiores quedas de temperatura do ar da nave, com especial nota a transição do dia 17 para o dia 18 onde as temperaturas atingem valores mínimos de 3°C e dão-se os valores mínimos para todas as variáveis de temperatura.

Nas [Figura 20](#) e [Figura 21](#) são apresentados os valores de velocidade registados para o período de medições assim como o número de ocorrências por valor de velocidade.

As equações (10), (11) e (12) são aplicáveis para valores de velocidade acima do plano de água inferiores a 0,15 m/s. Não se poderá afirmar que os valores registados são equivalentes aos valores que se registariam diretamente acima do plano de água. No entanto, (Shah, 2012) aponta que as velocidades recorrentes acima do plano de água não ultrapassam os 0,15 m/s.

A soma do número de ocorrências de valores de velocidade abaixo de 0,15 m/s corresponde a 88% do número de ocorrências total. Abaixo de 0,10 m/s, inclusive, registam-se aproximadamente 70% das ocorrências totais

Na [Figura 22](#) é compilada a informação relativa à evolução de pressão absoluta no interior da nave, pressão absoluta típica do ar exterior e valores máximo e mínimo registados em estação meteorológica para o período de medições.

Aos valores obtidos da estação meteorológica foram subtraídos 400 Pa, equivalentes à diferença de altitude aproximada 40 metros entre o local de estudo e o local da estação meteorológica.

Os valores de pressão absoluta na nave são inferiores à pressão atmosférica para todo o tempo de medição, indicador de que a nave estará em constante subpressão, aconselhado pela literatura como forma de prevenir a contaminação por cloraminas dos espaços adjacentes à nave.

A evolução de pressão interna não parece acompanhar os valores típicos de pressão absoluta do ar exterior. No entanto, o aumento de pressão absoluta observado para os dias 17 e 18 parece acompanhar o aumento de valores máximo e mínimo obtidos.

Na **Figura 23** é apresentada a evolução da humidade relativa no interior da nave. As quedas de humidade relativa ocorrem geralmente durante o início da tarde à exceção do dia 16 onde se registou o valor máximo de humidade relativa. Os valores máximos tendem a registar-se durante o final da tarde.

Na **Figura 24** são apresentados os valores de humidade absoluta na nave, calculados a partir dos valores medidos de temperatura de bolbo seco e humidade relativa, através da equação (5).

Os valores obtidos compreendem-se entre as 16 e 20 $g_{\text{vapor}}/kg_{\text{ar seco}}$, valores bastante acima do limite estabelecido no RSTPUP.

Não existe uma clara relação entre a humidade absoluta no interior da nave e a humidade absoluta típica no ar exterior.

3.1.8 Problemas identificados

Segue-se uma lista de problemas declarados pelos responsáveis do clube e ainda das visitas prestadas para levantamento de informação. Detalhar-se-ão posteriormente os problemas mais relevantes.

Envolvente

- Cobertura ondulada, de elevado coeficiente de transmissão térmica com aberturas
- Infiltrações de água pelo terraço
- Tanques de compensação na parte exterior do edifício
- Condensação em envidraçados - coeficiente de transmissão térmica elevado

Equipamentos

- Fugas de água em tubagens
- Iluminação inadequada do pavilhão
- Bombas de circulação antiquadas - possivelmente ineficientes
- Não utilização de cobertura para a piscina desportiva
- Grelhas da conduta de extração em necessidades de manutenção

Processos

- Sistema de desumidificação avariado

3.2 Plano de racionalização de energia

3.2.1 Solução de redução de consumos e custos associados a evaporação

Os complexos com piscinas interiores acarretam grandes custos de manutenção das condições de humidade relativa e temperatura do ar interior da nave das piscinas assim como a garantia de temperaturas recomendadas e de conforto da água das piscinas para os seus utentes. Contrabalançar as perdas por evaporação de água tem, nos complexos com piscinas, um peso significativo no consumo energético (Cardoso et al., 2018; Lund, 2000).

3.2.1.1 Clube de Propaganda da Natação

O Clube de Propaganda de Natação (CPN) sustenta uma nave com duas piscinas. O Quadro 18 apresenta as características de relevância da nave para o estudo em questão.

Quadro 18 - Características de relevância da nave

Área de superfície da piscina desportiva	(m ²)	400
Temperatura média da piscina desportiva	(°C)	28
Temperatura média da piscina de aprendizagem	(°C)	31 ± 0,5
Volume da nave (aproximado)	(m ³)	6000

3.2.1.2 Cobertura do plano de água

A cobertura do plano de água é uma das soluções de redução de consumo energético e manutenção das boas condições físicas do edifício mais referenciada na literatura relevante. O clube, à data das visitas, aplica uma cobertura sobre o plano de água da piscina de menores dimensões. No entanto, devido à dificuldade de aplicação e às divisórias presentes na piscina de competição, a utilização da cobertura existente (ligeiramente degradada) – [Figura 25](#) – seria impraticável.



Figura 25 - Cobertura de plano de água existente

3.2.1.3 *Tempo de aplicação de cobertura*

O período de não utilização da piscina desportiva corresponderá ao tempo de aplicação da cobertura. O **Quadro 19** sumaria o número de horas de aplicação de cobertura.

Quadro 19 - Número de horas de aplicação e desagregação por tipologia

Número de domingos e feriados em dia útil por ano [dias]	61
Número de sábados por ano [dias]	52
Dias úteis de funcionamento da piscina por ano [dias]	252
Horas de aplicação de cobertura – domingos e feriados em dia útil [h/dia]	24
Horas de aplicação de cobertura – sábados [h/dia]	13
Horas de aplicação de cobertura – dias úteis [h/dia]	9,5
Horas anuais cobertura domingos e feriados em dia útil [h/ano]	1464
Horas anuais cobertura sábados [h/ano]	676
Horas anuais cobertura dias úteis [h/ano]	2394
Horas anuais totais [h/ano]	4534

3.2.1.4 *Carga térmica de aquecimento de água de piscinas (período de não utilização)*

A estimativa da carga térmica de aquecimento de água de piscinas é fruto do balanço das perdas ou ganhos energéticos da piscina com a envolvente. Os principais processos de troca de energia no caso das piscinas são a evaporação, a radiação e a convecção. As trocas de energia por condução com o solo são desprezáveis de acordo com grande parte da literatura relativa assim como pela norma NP 4448:2007. A irradiação solar poderá também contribuir como ganho energético da água das piscinas, desde que incidente sobre o plano.

3.2.1.5 *Metodologia de cálculo da carga térmica*

As perdas de energia por evaporação serão quantificadas através das equações apresentadas na norma NP 4448:2007 e pelas equações formuladas por (Shah, 2012). As perdas por radiação e convecção serão quantificadas através das equações apresentadas na norma NP 4448:2007.

3.2.1.5.1 *Perdas por evaporação*

As perdas por evaporação são quantificadas de acordo com as equações relativas supracitadas. A norma NP 4448:2007 informa que a redução de perdas térmicas da piscina pela cobertura é de cerca de 90%.

As tabelas para cálculo, para os valores máximo e mínimo medidos são apresentadas nos anexos 6.7 e 6.8.

3.2.1.5.2 Perdas por radiação

A temperatura radiante média para o período de medições é inferior à temperatura de bolbo seco na totalidade do tempo, com valores a oscilarem, na sua maioria, entre os 0,4 e os 1,0 °C abaixo da temperatura de bolbo seco. Não é expectável que o valor de temperatura radiante ultrapasse o valor da temperatura de bolbo seco do ar, exceto nos dias quentes e de céu limpo de verão onde os ganhos por irradiação na envolvente de construção poderão ser significativos.

As tabelas para cálculo, para os valores máximo e mínimo medidos são apresentadas no anexo 6.9.

3.2.1.5.3 Perdas por convecção

As perdas por convecção são, por um lado, contribuintes para o aumento de temperatura do ar circundante e desde logo benéficas como redutoras de carga de aquecimento dos equipamentos AVAC e em primeiro raciocínio, redutoras das perdas por evaporação.

No entanto, é de notar que a aplicação de uma cobertura impede que o ar quente saturado junto à superfície de água, menos denso, suba por forças de impulsão e gere correntes de convecção que aumentariam os valores de velocidade junto à superfície, aumentando as perdas por evaporação.

As tabelas para cálculo, para os valores máximo e mínimo medidos são apresentadas no anexo 6.9.

3.2.1.5.4 Perdas por reposição de água

As perdas por reposição de água correspondem ao aquecimento de água fresca da rede para compensação das perdas térmicas de evaporação. É importante não confundir esta parcela com o aquecimento de água fresca de renovação, valor variável com o número de utilizadores e imposta pelo RSTPUP.

As tabelas para cálculo, para os valores máximo e mínimo medidos são apresentadas no anexo 6.9.

3.2.1.6 *Discussão de resultados de carga térmica de aquecimento de piscinas*

A carga térmica de aquecimento de água das piscinas é, para valores semelhantes de temperatura do ar da nave e da água, maioritariamente devida a perdas por evaporação – com peso de 60 – 80% das perdas totais - seguidas pelas perdas por radiação, convecção e finalmente pelo aquecimento da água de reposição.

As perdas energéticas por evaporação obtidas pela equação de (Shah,2012) são significativamente inferiores às perdas obtidas através da equação fornecida pela norma NP 4448:2007. Serão apresentadas ambas as conclusões, devendo ser dada prevalência aos dados obtidos através das equações de (Shah, 2012), dada a proposição que, não conhecendo os valores reais de evaporação do complexo, os valores menores representam o pior caso – margem de precaução.

3.2.1.7 Pressupostos

Não são conhecidos os valores anuais ou mensais médios de temperatura do ar da nave, humidade relativa ou temperatura radiante média. As medições efetuadas durante o período de 13 a 18 de fevereiro - mês com os segundo e terceiro valores de consumo energético mais elevados para os anos de 2016, 2017 e 2018 – são um ponto de partida na apreensão dos valores a considerar neste estudo. No entanto, por razões de precaução, é importante notar que os pressupostos anunciados nesta secção poderão ser falaciosos.

3.2.1.7.1 Pressuposto 1 – Temperatura de bolbo seco do ar da nave

A temperatura de bolbo seco da nave mostrou ter valor médio de 27,07°C durante o período de medições. Os picos de temperatura, com valor máximo de 28,8°C, dão-se durante o período da tarde, onde as temperaturas do ar são geralmente maiores e durante o qual se dão os maiores ganhos devido a irradiação solar (orientação de envidraçados a poente e cobertura com elevado coeficiente de transmissão térmica).

Os ganhos por irradiação são, no entanto, não tão significativos durante o período de medição, com céu coberto na sua maior parte.

As maiores quedas de temperatura, com valor mínimo de 24,9°C (registado no dia mais frio do período de medição, dão-se durante a noite por razões contrárias ao supracitado.

Na estimativa da carga térmica, fundamentado pela distribuição horária da temperatura média horária, serão utilizados os seguintes valores de temperatura de bolbo seco na nave médios diários:

- Dezembro, Janeiro e Fevereiro – 26°C;
- Março, Abril, Outubro, Novembro – 27°C;
- Maio, Setembro – 28°C;
- Junho, Julho, Agosto - 29°C.

3.2.1.7.2 Pressuposto 2 – Humidade relativa

O valor de humidade relativa não aparenta ser controlado, dada a oscilação de valores da acentuada. A humidade relativa da nave mostrou ter valor médio de 78 % durante o período de medições – valor a ser utilizado nos cálculos. Numa situação ideal, estabelecer-se-ia um valor de humidade relativa desejado, na ordem dos 50 - 70% de acordo com grande parte da literatura, mas para efeitos de cálculo dos atuais consumos e dada a flutuação de valores, utilizar-se-á o valor médio dos 5 dias de medição. Este valor, além de alto, atua como margem de segurança na estimativa da carga térmica em períodos de não utilização. No entanto, é recomendável que o CPN procure reduzir os valores de humidade relativa.

3.2.1.7.3 Pressuposto 3 – Temperatura radiante média

A evolução da temperatura radiante média acompanhou a evolução da temperatura de bolbo seco, com valores médios inferiores em 0,5°C. Serão utilizados os seguintes valores de temperatura radiante média para a estimativa de carga térmica:

- Dezembro, Janeiro e Fevereiro – 25,5°C;
- Março, Abril, Outubro, Novembro – 26,5°C;
- Maio, Setembro – 27,5°C;
- Junho, Julho, Agosto – 28,5°C.

3.2.1.7.4 Pressuposto 4 – Velocidade do ar junto ao plano de água

A velocidade do ar registada tem o valor médio de 0,08 m/s. No entanto, para cálculo da carga de aquecimento em períodos de não utilização, o valor deverá ser mais baixo que o valor médio registado, dada a proposição que não existirá o movimento associado aos utentes nas piscinas e os menores volumes de ar insuflado. Valores abaixo de 0,10 m/s, inclusive, correspondem a 70% das ocorrências totais, pelo que, dada a distribuição de valores, será utilizado o valor de 0,04 m/s.

3.2.1.8 Redução de custos associados a consumos de energia térmica

Os fatores utilizados na redução de consumos através da aplicação da cobertura são de 90% para a evaporação e reposição e 10% para a convecção e radiação..

O fator de rendimento da caldeira é de 0,95, correspondente à eficiência registada durante o período de medições.

O fator de conversão de kWh redutíveis efetivos para custo é de 0,05 €/kWh, valor médio em faturas recentes.

$$\text{Redução anual} = (0,9 (Q_{\text{evap}} + Q_{\text{re}}) + 0,1 (Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}})) \times 0,05 \div 0,95 \text{ [€]}$$

3.2.1.9 Resultados

A Tabela 20 apresenta os valores de perdas energéticas obtidas através das equações de (Shah,2012) para evaporação e NP 4448:2007 para as restantes parcelas.

Tabela 20 - Resultados de perdas energéticas segundo equações de (Shah,2012)

Perdas [kWh]	Dezembro Janeiro Fevereiro	Março Abril Outubro Novembro	Maio Setembro	Junho Julho Agosto	Totais anuais
Evaporação	25736	26439	9534	8331	70041
Radiação	6587	5243	887	- 1330	11387
Convecção	2946	1944	0	- 1473	3417
Reposição	574	590	213	186	1563
Total	35843	34216	10634	5714	86408

A Tabela 21 apresenta os valores de perdas energéticas obtidas através das equações em NP 4448:2007.

Tabela 21 - Resultados de perdas energéticas segundo equações da norma NP 4448:2007

Perdas [kWh]	Dezembro Janeiro Fevereiro	Março Abril Outubro Novembro	Maio Setembro	Junho Julho Agosto	Totais anuais
Evaporação	40201	45771	19238	22738	127948
Radiação	6587	5243	887	- 1330	11387
Convecção	2946	1944	0	- 1473	3417
Reposição	896	590	429	507	2422
Total	50630	53548	20554	20442	145174

Os resultados obtidos com as equações de evaporação de (Shah, 2012) para a carga de aquecimento em períodos de não utilização são, no total anual, 40% menores que as perdas obtidas com as equações da norma NP 4448:2007.

A poupança anual, para os pressupostos considerados, é de:

- (Shah,2012) + NP 4448:2007.....3840 €/ano
- NP 4448:2007.....6250 €/ano

A redução de emissões de CO₂ associada à energia consumida para compensação de perdas de energia, utilizando um fator de conversão de 0,202 kgCO₂/kWh – Despacho nº 15793-D/2013 é de:

- (Shah,2012) + NP 4448:2007.....17454 kgCO₂/ano
- NP 4448:2007.....29325 kgCO₂/ano

3.2.1.10 Considerações finais

O CPN atualmente não desumidifica mecanicamente o ar, apenas dando-se a exaustão parcial do ar de extração, cujo ar de retorno é posteriormente misturado com ar novo – com valores de temperatura e humidade absoluta bastante mais baixos – e aquecido para compensação de perdas pela envolvente da nave.

Para manutenção de valores de humidade relativa aceitáveis, são necessários maiores caudais mássicos de ar novo para compensação do ar exausto, e dada a temperatura do ar exterior ser significativamente inferior à temperatura mantida na nave, a energia associada ao aquecimento da mistura de ar é também de valor significativo.

A cobertura sobre o plano de água não tem influência sobre as perdas pela envolvente do ar, mas diminui a quantidade de água no ar da nave. Esta diminuição poderá justificar menores caudais de ar novo para manutenção dos valores de humidade relativa atuais e menores perdas associadas ao aquecimento de ar novo.

É crucial apontar que os valores de humidade relativa registados pelo CPN são significativamente altos. Na eventualidade de o clube procurar melhorar as condições de humidade relativa, a redução de custos associados a evaporação através da aplicação de uma cobertura sobre o plano de água será ainda mais vantajosa.

3.2.2 Aplicação de isolamento na superfície externa dos tanques de compensação

3.2.2.1 Tanques de compensação expostos ao ambiente exterior

Um erro de projeto enunciado nas primeiras visitas ao clube desportivo terá sido a localização dos tanques de compensação de água das piscinas no exterior do edifício principal. Por natureza, os tanques de compensação albergam água a temperatura significativamente superior à temperatura do ambiente exterior.

Este diferencial de temperatura, associado a coeficientes de convecção elevados (consequência das propriedades termofísicas da água) tem como consequência elevadas perdas de energia térmica para o exterior – quando os tanques não são devidamente isolados termicamente, caso do clube.

Na [Figura 26](#), apresentam-se a fotografia – à esquerda - e a imagem termográfica – à direita - da lateral oeste dos tanques de compensação.

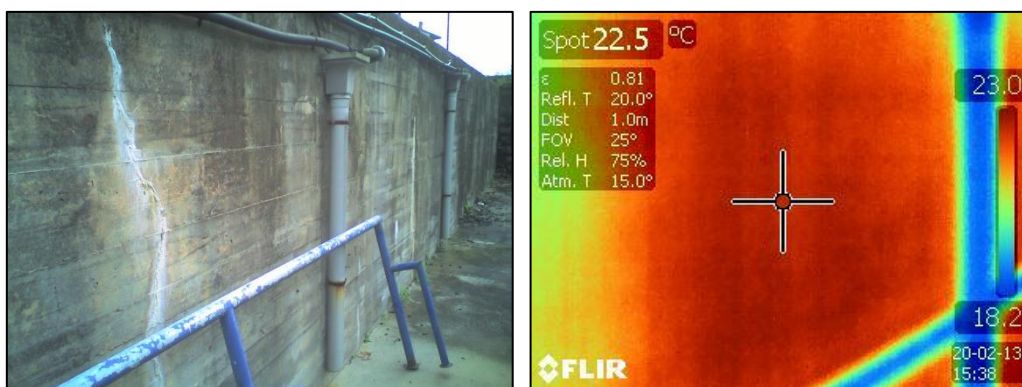


Figura 26 - Fotografia à lateral poente dos tanques de compensação exteriores (esquerda) e correspondente imagem termográfica (direita)

O departamento de engenharia civil, parte constituinte do projeto piloto, apontou para a aplicação de isolamento externo, utilizando como critério de dimensionamento os valores de coeficientes de transmissão térmica de legislação vigente de $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

3.2.2.2 *Análise do caso de estudo – tanques de compensação adiabáticos*

Considere-se um tanque de compensação, termicamente isolado do exterior (perdas de calor para o exterior nulas) com nível de água fixo, à pressão atmosférica, com caudais de entrada e saída como representados na [Figura 27](#).

Perdas mássicas por evaporação e salpicos não serão consideradas significativas dadas a ordem de grandeza dos caudais e volumes em questão.

Segue-se que o caudal mássico de água proveniente das caleiras da piscina chega ao tanque é igual ao caudal mássico que é bombeado para tratamento e posteriormente injetado na piscina.

Água fresca, proveniente de rede pública, é adicionada ao tanque, sobre imposição de regulamentação. Água do tanque de compensação é enviada para esgoto, para manutenção do nível de água fixo. No caso do clube, o volume de água fresca e água enviada para esgoto é insignificante, com ordem de grandeza inferior em mais de 200 vezes.

Segue-se pelas equações de conservação de massa e energia, que a temperatura num tanque adiabático, para as condições mencionadas, é constante e de valor igual à temperatura da água de retorno da piscina.

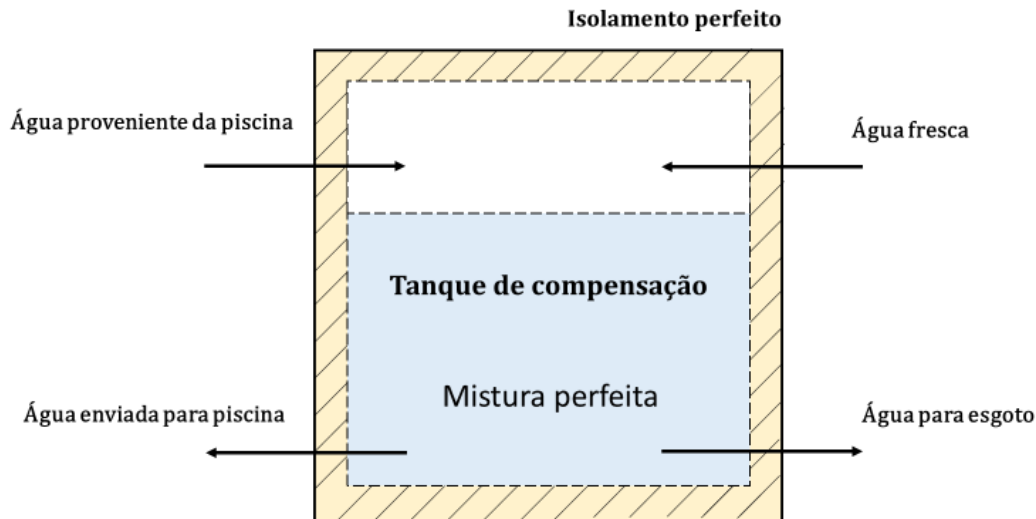


Figura 27 - Tanque de compensação adiabático

Conservação de massa:

$$\dot{m}_{de\ piscina} + \dot{m}_{fresca} = \dot{m}_{para\ piscina} + \dot{m}_{esgoto}$$

Conservação de energia:

$$\dot{m}_{de\ piscina} \times h_{de\ piscina} + \dot{m}_{fresca} \times h_{fresca} = (\dot{m}_{para\ piscina} + \dot{m}_{esgoto}) \times h_{mistura}$$

3.2.2.3 Perdas pela envolvente

A quantificação das perdas pela envolvente dá-se pela seguinte equação:

$$Q_{perdas} [W] = A_{sup} \times U_{total\ parede} \times (\overline{T}_{int} - \overline{T}_{ext})$$

A_{sup} – área total de superfície de parede em contacto com o ar exterior, de 51,5 m²;

$U_{total\ parede}$ – coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva (inclui resistências de ar superficiais), em W · m⁻² · °C⁻¹;

\overline{T}_{int} – média ponderada de temperatura da água dos tanques de compensação (67% para o tanque maior, 33% para o tanque menor – 28,8°C);

\overline{T}_{ext} – temperatura média anual do ar exterior (considerado 14,4 °C);

3.2.2.3.1 Descrição da solução construtiva atual

A parede que separa a água do interior dos tanques do ar exterior apresenta uma espessura de 30 cm e, dada a composição, apresenta um coeficiente de transmissão térmica de $1,26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ (ITE50). A aplicação de isolamento térmico na camada exterior atua como resistência ideal à transferência de calor.

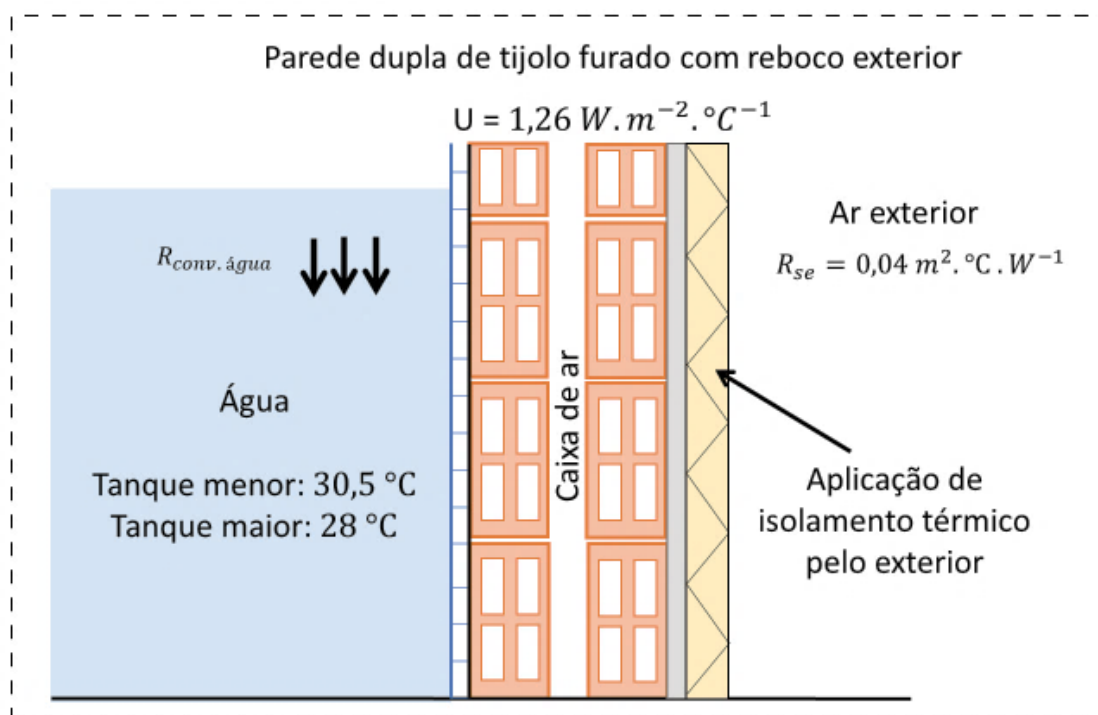


Figura 28 - Solução construtiva atual e representação da aplicação de isolamento térmico

3.2.2.4 Quantificação da poupança anual

A quantificação da poupança anual através da aplicação de isolamento exterior é dada pela seguinte equação:

$$\text{Poupança anual [€]} = \frac{(U_{original} - U_{c/isolamento}) \times A_{sup} \times (\overline{T}_{int} - \overline{T}_{ext})}{10^3} \times N \times \frac{C}{E}$$

$U_{original}$ – coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva original, de valor $1,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$;

$U_{c/isolamento}$ – coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva com isolamento exterior aplicado, em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$;

N – número de horas de um ano típico;

C – custo de energia, estipulado a $0,05 \text{ €/kWh}$;

E – eficiência da caldeira, estipulada a $0,95$;

A poupança anual em função da resistência térmica do isolamento aplicado é apresentada na [Figura 29](#).

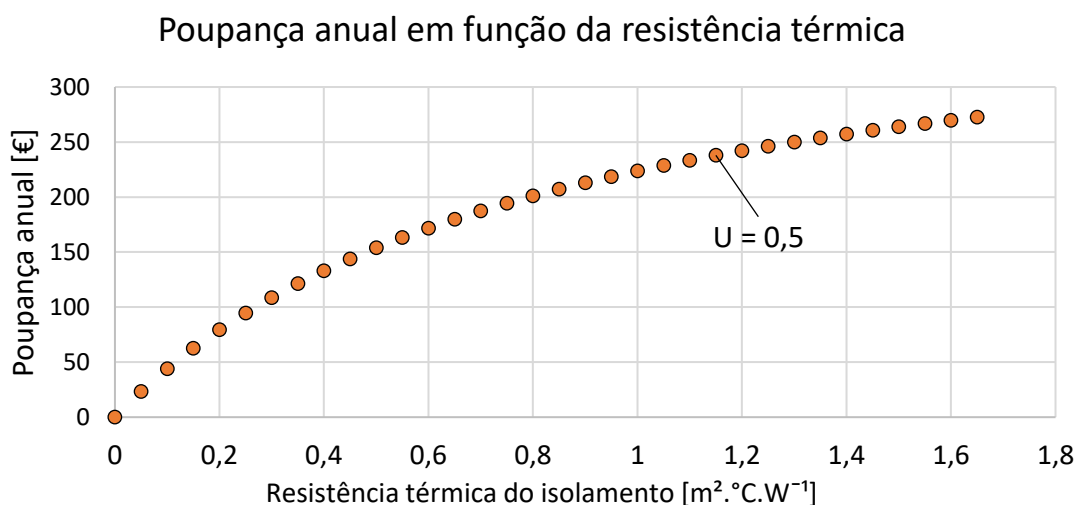


Figura 29 - Poupança anual em função da resistência associada ao isolamento térmico

A poupança, para os pressupostos considerados e com concordância com legislação vigente, é de:

COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA = 0,5 240 €/ano

3.2.2.5 Cobertura da nave de piscinas

A nave do CPN apresenta uma cobertura curva ondulada composta por duas chapas de aço de 4 mm com uma caixa de ar fracamente ventilada. A cobertura estende-se por uma área de, aproximadamente, 1000 metros quadrados.

Devido à ondulação da cobertura, esta apresenta aberturas na lateral este da nave, parcialmente vedadas com espuma. Na [Figura 30](#), apresentam-se a fotografia – à esquerda - e a fotografia termográfica – à direita - da zona em questão.

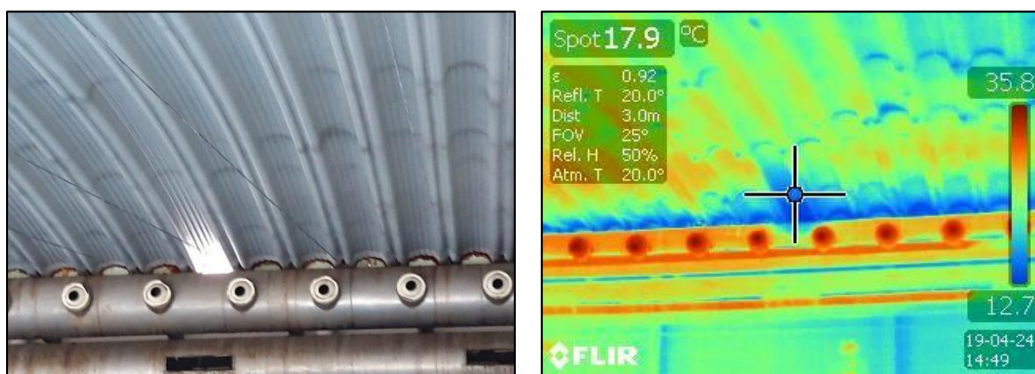


Figura 30 - Fotografia a aberturas na cobertura da nave (esquerda) e correspondente imagem termográfica (direita)

É de notar que a temperatura da chapa de aço junto à vedação é significativamente mais baixa que a temperatura da restante cobertura. Isto deve-se à infiltração de ar e ao pequeno sombreamento da beirada do terraço.

A cobertura é um dos elementos cuja análise deverá ser detalhada. Um elevado coeficiente de transmissão térmica é benéfico na captação de energia solar e respetiva transmissão ao ar no interior da nave. No entanto, dadas as temperaturas do ar exterior serem, quase na sua totalidade anual, significativamente inferiores à temperatura do ar na nave, dar-se-ão perdas significativas em períodos noturnos e durante os meses mais nublados.

Algo também a ser mencionado é a estratificação do ar da nave. A acumulação de ar quente junto à cobertura exacerba as perdas térmicas durante estes períodos assim como as perdas devido à migração do ar quente para o exterior junto às aberturas.

3.2.2.6 Modelação e simulação dinâmica do edifício

Na tentativa de quantificar a redução de consumos associados a perdas energéticas pela cobertura da nave, foi modelado o edifício físico através do *software SketchUp* e simuladas as condições interiores e consumos energéticos através da ferramenta de simulação energética de edifícios *EnergyPlus*.

3.2.2.6.1 Modelação do edifício físico

A modelação do edifício físico focou-se na modelação da nave de piscinas (secção do edifício com sistema AVAC dedicado e funcional). O restante edifício foi simplificado por inexperiência em resolução de erros específicos do *software* e ainda incompatibilidades e insuficiências do *software* em simulação de piscinas interiores.

O anexo 6.B apresenta desenhos relativos à nave de piscinas com anotações de relevância para simulação dinâmica. A [Figura 31](#) apresenta a modelação final do edifício em SketchUp.

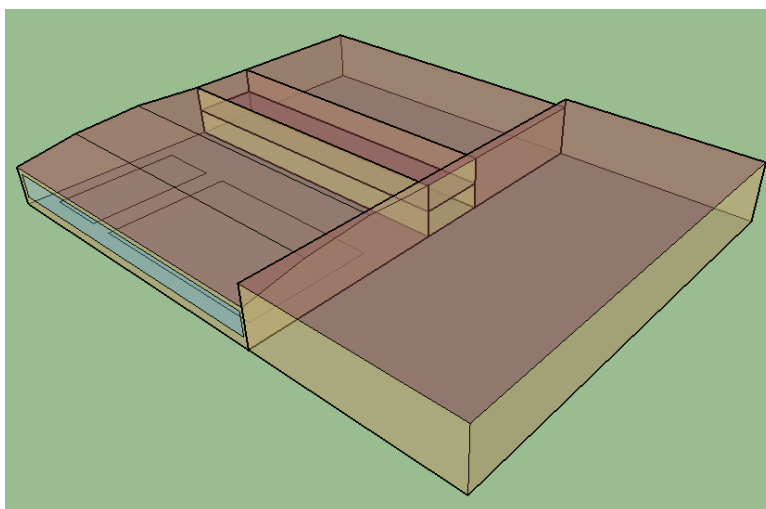


Figura 31 - Versão simplificada do edifício com Pavilhão de Ermesinde Adjacente

3.2.2.6.2 Modelação dos sistemas AVAC

A modelação de sistemas em *software* EnergyPlus segue um conjunto de regras específicas que, por vezes, restringem a tradução integral dos sistemas reais (de acordo com o conhecimento do autor). Os sistemas representados no anexo 6.A, à exceção do sistema AQS, foram modelados e traduzidos de acordo com as regras de no anexo 6.C.

3.2.2.6.3 Resultados de simulação

Após várias iterações de elementos de controlo, os resultados de temperatura média horária de nave e humidade absoluta média horária que mais se aproximam do comportamento real – baseados nos dados relativos à semana de medições (fevereiro 2018), são apresentados nas Figura 32 e Figura 33 (730 horas ~ 1 mês).

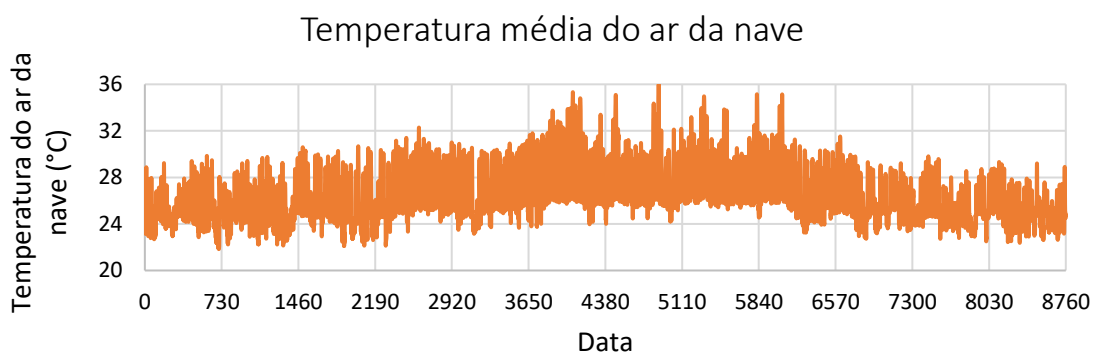


Figura 32 - Resultados de temperatura média horária do ar da nave

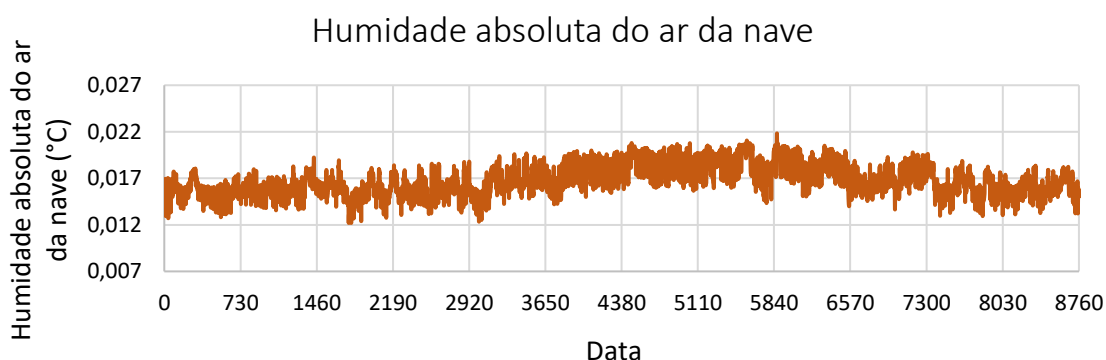


Figura 33 - Resultados de humidade absoluta média horária do ar da nave

Os valores de temperatura média horária superiores a 30°C representam 8% do número de horas do ano; valores superiores a 31°C representam 3%. Valores de temperatura inferior a 25°C representam cerca de 29% do número de horas total. Serão expectáveis valores de temperatura reais compreendidos entre os 26°C e os 30°C para a totalidade do ano, pelo que se pode concluir que o modelo não será preciso.

Os valores de humidade absoluta estão dentro dos valores expectáveis para o comportamento real do edifício. A humidade relativa horária média anual é de 77%, valor próximo do valor de 78% registado durante o período de medições. No entanto, na ausência de dados de verão e valores de temperatura que não se enquadram no comportamento expectável, não poder-se-á concluir que o controlo de humidade será o correto.

Um fator decisivo na comparação do modelo gerado e o edifício real é a comparação de consumos de energia de simulação e totais faturados. A [Figura 34](#) apresenta a comparação entre os dados de consumos de energia térmica faturados no ano de 2018 e os valores resultantes de simulação. Embora os meses mais frios acompanhem a evolução de consumo, com diferenças máximas de 12%, o modelo erra durante os meses de calor, onde se regista uma diferença máxima de 147%. O número de possibilidades por detrás deste erro é grande.

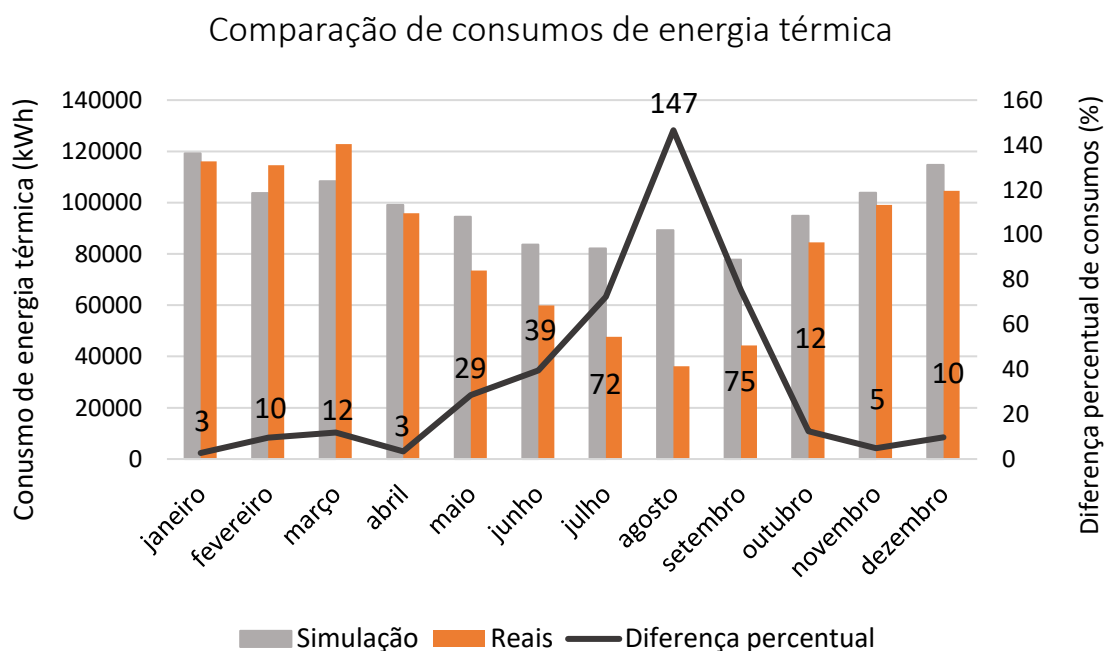


Figura 34 - Comparação dos consumos de energia térmica do edifício e resultados de simulação

Uma razão que poderá explicar a falha deste modelo é a não contabilização dos consumos de AQS (a inclusão de consumos de AQS implicaria maiores consumos durante os meses de inverno e aumento de diferença de consumos na maior parte destes meses).

A consequência desta não contabilização poderá ser indicador que a envolvente do edifício, desde materiais à simplificação, estará incorreta. Uma envolvente de maior resistência térmica diminuiria os consumos em meses de inverno e verão, sendo as diferenças percentuais preenchidas pelos consumos em meses de inverno (maior número de clientes em piscinas).

3.2.2.7 Redução do coeficiente de transmissão térmica

Embora o modelo final tenha fracassado, procedeu-se à alteração do coeficiente de transmissão térmica da cobertura da nave para o valor de $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Os resultados são apresentados nas [Figura 33](#), [Figura 34](#) e [Figura 35](#).

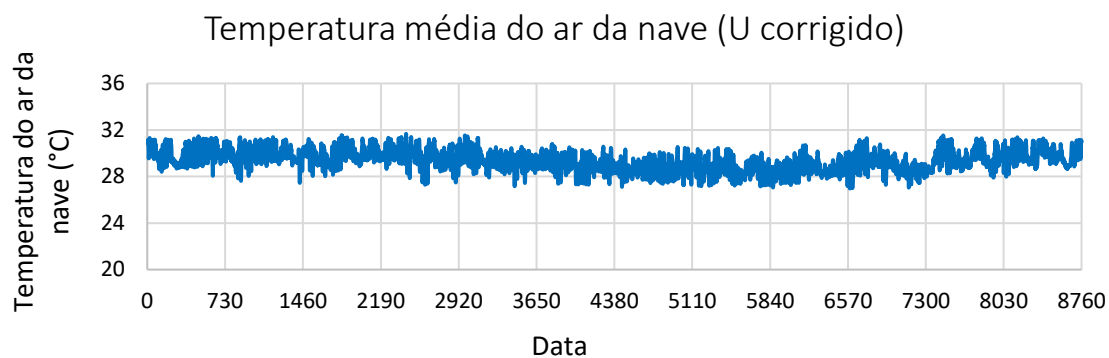


Figura 33 - Resultados de temperatura média horária em simulação com coeficiente corrigido

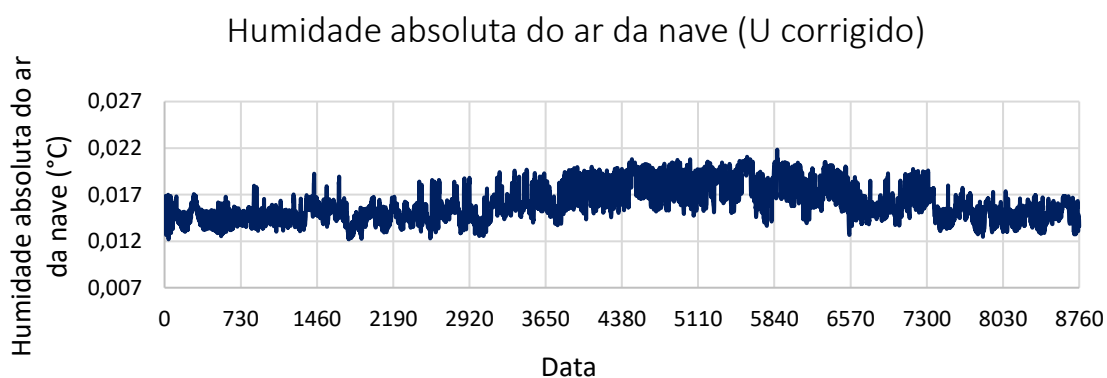


Figura 34 - Resultados de humidade absoluta média horária em simulação com coeficiente corrigido

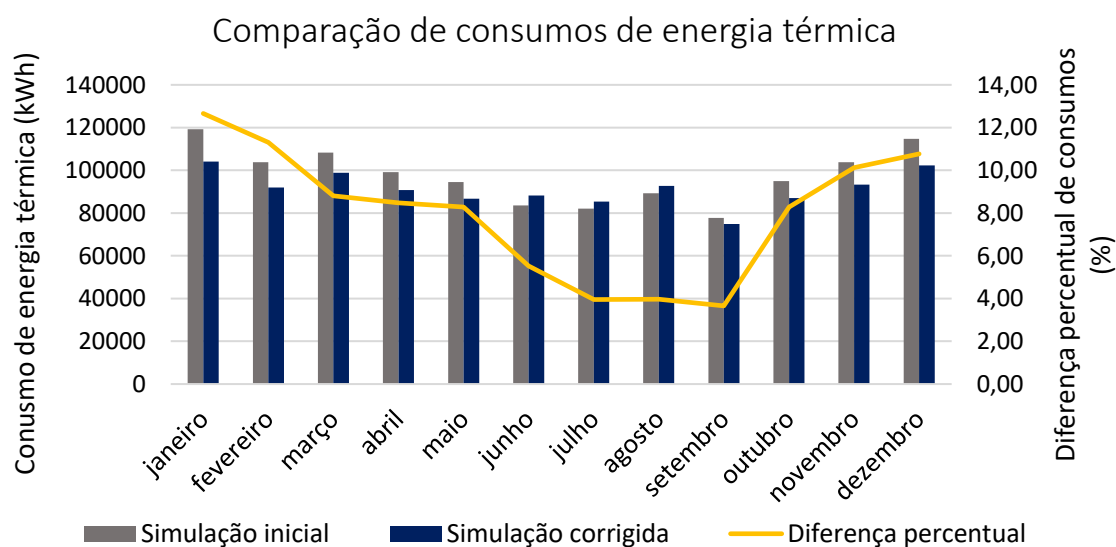


Figura 35 - Comparação de consumos de energia entre simulação original e simulação corrigida

A alteração do coeficiente de transmissão térmica aparenta atenuar as flutuações e elevar a temperatura interna, enquadrando-as na gama dos 28°C a 30°C, temperaturas ideais para minimização de perdas por evaporação assim como cumpridoras das condições enunciadas no RSTPUP.

O valor de humidade absoluta horária parece diminuir em pequena proporção e para valores mais estáveis.

O consumo de energia térmica mensal é mais estável e com menor dependência sazonal, tendo decrescido em valor anual inferior a 1% da simulação original.

A redução do coeficiente de transmissão térmica da cobertura aparenta ter consequências significativas no comportamento das condições internas do edifício e nos seus consumos, todas elas benéficas. Se manipulado o controlo para os valores de humidade absoluta e temperatura obtidos na simulação original, a redução do coeficiente de transmissão térmica da cobertura terá um expectável maior impacto nos consumos de energia térmica.

Aconselha-se à modelação e simulação profissional do edifício para quantificação dos mesmos.

3.2.3 Redução de custos associados a energia reativa

A correção do fator de potência pode ser facilmente conseguida através da instalação de um banco de condensadores, sugerido pelo aluno de especialidade de engenharia eletrotécnica.

No entanto, a investigação da fonte de consumo desta energia reativa e respetiva correção pode ser uma solução mais aconselhada. Foram realizadas medições incorretas às bombas circulação de água para a piscina de grande porte, das quais não foram possíveis ser obtidas conclusões.

Estas bombas, presentes desde a construção do clube, poderão não funcionar corretamente e consumir elevados valores de energia reativa. Sugere-se um estudo detalhado destas bombas, dado que a substituição das mesmas pode também resultar em menores consumos de energia elétrica ativa e melhor performance.

Foram cobrados 1812 € em custos associados a energia reativa nos três anos aos quais se referem as faturas de energia deste trabalho.

A redução de consumo de energia reativa para valores de fator de potência abaixo do cobrável ou a instalação de um banco de condensadores preveem uma poupança de **606 €/ano.**

CONCLUSÕES

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Proposta de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

A procura de soluções de redução de custos energéticos em edifícios, especificamente em CPI, permite a alocação dos recursos financeiros para a geração de valor para os clientes assim como melhorar a competitividade e atratividade dos mesmos. Associados à redução destes custos, a correspondente redução do consumo energético é, por *proxy* de queima de fósseis associada, uma das formas de se evitar impacto negativo no meio ambiente.

A garantia das condições necessárias para as práticas aquáticas em recinto interior requer grandes investimentos em equipamentos de aquecimento, ventilação e desumidificação cuja correta manutenção é crucial na sua duração e eficácia.

Falhas de projeto podem levar a custos de exploração desnecessariamente altos com grande impacto financeiro a longo prazo.

Procurou-se neste trabalho dar a conhecer ao clube aspetos do seu funcionamento, condições internas da nave, estado dos equipamentos, consumos e custos e a sua evolução ao longo do tempo.

Conclui-se que o CPN não albergava consumos energéticos de proporção superior a CPI equivalentes, mas é necessário tomar em consideração que as condições de humidade relativa e absoluta não serão ideais.

O CPN apresenta um valor de 2187 kWh/m² segundo o critério AP e um valor de 518 kWh/m² segundo o critério AC.

A correta compreensão do processo de evaporação demonstra-se, de acordo com a literatura relevante, crucial na garantia das condições necessárias ao funcionamento de CPI e cuja correta manipulação poderá eliminar grandes desperdícios energéticos.

Na existência de uma cobertura de plano de água, estimou-se a redução de custos associados à sua aplicação em períodos de não utilização. Com base nos dados obtidos em período de medições, a poupança anual compreende-se entre os valores de 3480 e 6250 €.

Estima-se uma poupança anual de 240 euros com isolamento térmico aplicado nas paredes expostas ao ar dos tanques de compensação, para um coeficiente de transmissão térmica de acordo com a legislação vigente.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

São inumeráveis as medidas de redução de consumo energético. No entanto, o número de medidas quantificáveis com impacto significativo e economicamente viáveis é limitado.

As condições do clube não são ideais e não cumprem com regulamentos atuais. Com este argumento em mente, na tentativa de reduzir os consumos dever-se-á também garantir as condições que proporcionarão o melhor conforto aos clientes a quem o clube serve.

Foram obtidos dados inconclusivos por medições incorretas realizadas a bombas de circulação de água de piscina. O estudo destas bombas, já antigas, poderá explicar os valores elevados de energia reativa registados no ano de 2018.

Aconselha-se um estudo detalhado para substituição dessas mesmas bombas.

A cobertura da nave apresenta aberturas que, inevitavelmente, traduzem-se em perdas energéticas. Além disso, devido à sua composição, a cobertura apresenta um coeficiente de transmissão térmica significativamente superior ao atualmente regulamentado para edifícios de serviços, pelo que se deverá realizar um estudo profissional relativo ao impacto da substituição ou incremento de coeficiente através de sobreposição de painéis.

Embora não redutora de consumo energético, a instalação de coletores solares é prática recorrente em CPI em países com bom aproveitamento solar, caso de Portugal, na redução de custos de exploração embora com investimentos iniciais significativos. Sugere-se também um estudo de aproveitamento solar.

A manipulação das variáveis no processo de evaporação é também algo a ser considerado. A diminuição de temperatura da água em períodos de não utilização, dentro dos limites de capacidade dos elementos de aquecimento de água, aliada à aplicação de cobertura poderá traduzir-se em reduções significativas de consumo energético, além de promover as condições que conservam a integridade estrutural do edifício.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- 5.1 Artigos em revistas internacionais
- 5.2 Dissertações e teses
- 5.3 Websites
- 5.4 Outros estudos

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Artigos em revistas internacionais

Cardoso, B. J., Gaspar, A. R., Góis, J. C., & Rodrigues, E. (2018). Energy and water consumption characterization of Portuguese indoor swimming pools. *CYTEF 2018 VII Congreso Ibérico, Ciencias y técnicas del frío. 19-21 June 2018, Valencia, Spain*, 19–21.

Saari, A., & Sekki, T. (2008). Energy Consumption of a Public Swimming Bath. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2(1), 202–206.

Shah, M. M. (2012). Improved method for calculating evaporation from indoor water pools. *Energy and Buildings*, 49(June 2012), 306–309.

Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylaktos, C., Droutsas, K., Balaras, C. A., Santamouris, M., ... Papanikolaou, N. (1998). Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools. *Energy and Buildings*, 27(2), 123–135.

Zuccari, F., Santiangeli, A., & Orecchini, F. (2017). Energy analysis of swimming pools for sports activities: Cost effective solutions for efficiency improvement. *Energy Procedia*, 126, 123–130.

Lund, J. W. (2000). Design Considerations for Pools and Spas (Natatoriums). *Ghc Bulletin*, 21(September 2000), 6–9.

Mangold, D. W., Bundy, D. S., & Hellickson, M. A. (1983). Psychrometrics. *ASAE Monograph*, (6), 7–22.

5.2 Dissertações e teses

Almeida, B. (2014). *Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra*; Universidade de Coimbra; <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38845/1/Eficiencia%20Energetica%20em%20Complexos%20Desportivos.pdf>; acessado a 18/04/2019;

Apolinário, J. P. F. (2015). *Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores : Complexo de Piscinas Rui Abreu*; Universidade de Coimbra; https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38773/1/Eficiencia%20energetica%20em%20complexos%20de%20piscinas%20interiores_complexo%20de%20piscinas%20Rui%20Abreu.pdf; acessado a 18/04/2019.

Fontes, A. A. (2015). *Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: caso da piscina municipal Luís Lopes da Conceição*; Universidade de Coimbra; <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38998/1/Eficiencia%20energetica%20em%20complexos%20de%20piscinas%20interiores.pdf>; acessado a 18/04/2019.

Manuel, P., & Sampaio, P. (2016). *Eficiência Energética em Complexos Interiores : Piscina Municipal de Celas*; Universidade de Coimbra; <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/39034/1/Eficiencia%20Energetica%20em%20Complexos%20com%20piscinas%20interiores%20Piscina%20Municipal%20de%20Celas.pdf>; acessado a 18/04/2019.

5.3 Websites

IEA. (2019B). Agência Internacional de Energia; *Total final energy consumption by source of energy, World*; [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=Total%20final%20consumption%20\(TFC\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=Total%20final%20consumption%20(TFC)%20by%20source), acessado a 10/04/2019;

IEA. (2019B). Agência Internacional de Energia; *Total final energy consumption by source of energy, Portugal*; [https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=PORTUGAL&fuel=Energy%20consumption&indicator=Total%20final%20consumption%20\(TFC\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=PORTUGAL&fuel=Energy%20consumption&indicator=Total%20final%20consumption%20(TFC)%20by%20source), acessado a 10/04/2019;

SCE. (2019). Sistema de Certificação Energética de Edifícios; *Legislação em vigor na área dos edifícios*; <https://www.sce.pt/legislacao/>, acessado a 3/05/2019;

EC. (2019). Comissão Europeia; *Energy efficiency – targets, directive and rules*; https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules_en, acessado a 4/05/2019

BizEE. (2019). Degree days; *Degree days calculated accurately for locations worldwide*;

https://www.degreedays.net/?fbclid=IwAR0ukTywxJqnDJO6vTBtFBxya9EaEInLBJme3_ONKOZ2-GSF_zayujOGGeU#generate, acedido a 7/11/2019;

5.4 Outros estudos

Faria, A. C., Nunes, C., & Augusto, J. (2012). *Piscinas - Instalações de tratamento de água; Instituto Português do Desporto e Juventude (I.P.)*;
https://ipdj.gov.pt/documents/20123/125428/1.+Caderno+T%C3%A9cnico_Inst_Trat_Agua_V3bb.pdf, acedido a 25/09/2019;

LEITAT & SEA. (2014). *Energy audits and Energy Performance Certification*. LEITAT Technological Center;
http://step2sport.eu/sport/wp-content/uploads/2014/12/WP2_20141219_STEP-2-SPORT_D2.2_Integrated_report.pdf; acedido a 7/11/2019.

ANEXOS

- 6.1 Requisitos do RSTPUP
- 6.2 Informação relativa às faturas de energia eléctrica
- 6.3 Compilação da faturação mensal de energia térmica e eléctrica e custo específico de gás natural
- 6.4 Valores de leitura do contador de energia eléctrica
- 6.5 Cálculo do caudal de ar novo
- 6.6 Condições de minimização de perdas por evaporação
- 6.7 Perdas por evaporação (NP 4448:2007)
- 6.8 Perdas por evaporação (Shah, 2012)
- 6.9 Tabelas para cálculo de perdas por radiação, convecção e reposição de água
- 6.A Anexo A - Medições trasladadas para esquema de funcionamento do sistema AVAC
- 6.B Anexo B - Desenho de detalhe da nave de piscinas e anotações
- 6.C Anexo C - Representação dos sistemas AVAC para simulação em EnergyPlus

6 ANEXOS

6.1 Requisitos do RSTPUP

Zona de banho (nave da piscina)	Humidade relativa	55 a 75%
	Temperatura de bolbo seco	Igual ou superior à água do tanque com a temperatura mais baixa até 4°C, com o mínimo de 24°C
	Humidade absoluta máxima	12 g vapor de água/kg ar seco
	Caudal mínimo de ar novo	- 10 m ³ /h/m ² com base na área de superfície total da nave - 20 m ³ /h/m ² com base na área de superfície de água (Portaria 353-A/2013)
	Velocidade de circulação de ar na nave	Inferior a 0,1 m/s
	Volume da nave	Mínimo de 8 m ³ por cada m ² da superfície de plano de água
Zona de serviços anexos	Temperatura bolbo seco	22 a 24°C
	Humidade relativa	50 %
	Renovação do ar	3 a 8 volumes por hora
Zonas complementares e técnicas	Temperatura bolbo seco	24°C no Verão, 20°C no Inverno
	Humidade relativa	50%
	Renovação do ar	3 a 8 volumes por hora

6.2 Informação relativa às faturas de energia elétrica

6.2.1 Ano de 2016

2016											
Ativa										Reativa	
Vazio		Ponta		Cheias		Super vazio		Total	Vazio		
	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	kWh	€/kWh
janeiro	5628	0,05205	3769	0,06507	8504	0,06040	3045	0,04484	20946	-	0,02080
fevereiro	4639	0,05205	3597	0,06507	7927	0,06040	2634	0,04484	18797	533	0,02080
março	4191	0,05205	2941	0,06507	7586	0,06040	2409	0,04484	17127	1381	0,02080
abril	4513	0,05205	1205	0,06507	7177	0,06040	2108	0,04484	15003	1638	0,02080
maio	4115	0,05205	1405	0,06507	7965	0,06040	2210	0,04484	15695	1426	0,02080
junho	4005	0,05205	1344	0,06507	7280	0,06040	2120	0,04484	14749	1516	0,02080
julho	4319	0,05205	1398	0,06507	7561	0,06040	2259	0,04484	15537	955	0,02080
agosto	3874	0,05205	1440	0,06507	7156	0,06040	2143	0,04484	14613	1114	0,02080
setembro	4334	0,05205	1463	0,06507	8508	0,06040	2311	0,04484	16616	824	0,02080
outubro	5802	0,05205	1528	0,06507	8466	0,06040	2605	0,04484	18401	497	0,02080
novembro	5516	0,05205	3759	0,06507	8677	0,06040	2908	0,04484	20860	-	0,02080
dezembro	7294	0,05205	4307	0,06507	9904	0,06040	3634	0,04484	25139	1	0,02080
Total anual	58230		28156		96711		30386		213483		
Fração	0,2728		0,1319		0,4530		0,1423		1,0000		

6.2.2 Ano de 2017

2017											
Ativa										Reativa	
Vazio		Ponta		Cheias		Super vazio		Total	Vazio		
kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	kWh	€/kWh	
janeiro	6862	0,05205	5061	0,06507	11862	0,06040	4068	0,04484	27853	0	0,02080
fevereiro	5856	0,05205	4310	0,06507	9891	0,06040	3100	0,04484	23157	0	0,02080
março	5113	0,05205	3514	0,06507	9065	0,06040	2674	0,04484	20366	221	0,02080
abril	5145	0,05205	1166	0,06507	6989	0,06040	2186	0,04484	15486	917	0,02080
maio	4128	0,05205	1594	0,06507	9158	0,06040	2377	0,04484	17257	871	0,02080
junho	6454	0,05205	1868	0,06507	10189	0,06040	3116	0,04484	21627	0	0,02080
julho	5958	0,05205	2132	0,06507	11297	0,06040	3170	0,04484	22557	32	0,02080
agosto	5901	0,05205	2062	0,06507	10502	0,06040	3125	0,04484	21590	14	0,02080
setembro	6481	0,05205	1955	0,06507	10895	0,06040	3103	0,04484	22434	0	0,02080
outubro	6721	0,05205	2253	0,06507	11009	0,06040	3208	0,04484	23191	1	0,02080
novembro	6064	0,05205	3980	0,06507	9254	0,06040	3075	0,04484	22373	4	0,02080
dezembro	5176	0,05205	2573	0,06507	6014	0,06040	2062	0,04484	15825	951	0,02080
Total anual	69859		32648		116125		35264		253716		
Fração	0,2753		0,1280		0,4577		0,1390		1,0000		

6.2.3 Ano de 2018

2018											
Ativa										Reativa	
Vazio		Ponta		Cheias		Super vazio		Total	Vazio		
kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	€/kWh	kWh	kWh	€/kWh	
janeiro	4371	0,05205	3688	0,06507	8250	0,06040	2383	0,04484	18692	105	0,02080
fevereiro	3672	0,05205	2975	0,06507	6629	0,06040	1938	0,04484	15214	835	0,02080
março	4197	0,05205	2602	0,06507	6766	0,06040	1977	0,04484	15542	1419	0,02080
abril	4321	0,05205	1362	0,06507	7597	0,06040	2038	0,04484	15318	182	0,02080
maio	4081	0,05205	1409	0,06507	7995	0,06040	2213	0,04484	15698	340	0,02080
junho	4674	0,05356	1353	0,06999	7892	0,06040	2306	0,04822	16225	435	0,02090
julho	4026	0,05395	1544	0,07128	8456	0,06640	2382	0,04911	16408	661	0,02090
agosto	3862	0,05395	1264	0,07128	6496	0,06640	2054	0,04911	13676	1323	0,02090
setembro	4209	0,05395	1390	0,07128	7970	0,06640	2207	0,04911	15776	1055	0,02090
outubro	4778	0,05395	1740	0,07128	8101	0,06640	2473	0,04911	17092	607	0,02090
novembro	4476	0,05395	3186	0,07128	7068	0,06640	2367	0,04911	17097	529	0,02090
dezembro	5511	0,05395	3058	0,07128	6747	0,06640	2475	0,04911	17791	730	0,02090
Total anual	52178		25571		89967		26813		194529		
Fração	0,2682		0,1315		0,4625		0,1378		1,0000		

6.3 Compilação da faturação mensal de energia térmica e elétrica e custo específico de gás natural

Custos de energia elétrica, em €				Custos de energia térmica (GN), em €				Custo específico (GN), em €/kWh			
Faturas	2016	2017	2018	Faturas	2016	2017	2018	Faturas	2016	2017	2018
janeiro	2826	3880	2808	janeiro	4717	4926	5322	janeiro	0,0495	0,0453	0,0458
fevereiro	2550	3208	2205	fevereiro	4708	3534	5215	fevereiro	0,0492	0,0461	0,0455
março	2391	2855	2259	março	4726	3369	5601	março	0,0496	0,0467	0,0456
abril	2019	2098	2348	abril	4149	3338	4580	abril	0,0459	0,0466	0,0478
maio	2126	2372	2446	maio	2861	3068	3627	maio	0,0492	0,0472	0,0493
junho	2006	2856	2371	junho	2921	2296	3026	junho	0,0486	0,0487	0,0505
julho	2090	3025	2416	julho	1811	2205	2571	julho	0,0454	0,0475	0,0540
agosto	1998	2827	1997	agosto	1278	1720	1716	agosto	0,0365	0,0377	0,0474
setembro	2224	2976	2214	setembro	2522	2779	2409	setembro	0,0431	0,0458	0,0543
outubro	2403	3094	2402	outubro	2946	3206	4405	outubro	0,0447	0,0452	0,0521
novembro	2813	3063	2479	novembro	4020	4139	5080	novembro	0,0436	0,0441	0,0513
dezembro	3352	2338	2607	dezembro	4508	4744	5353	dezembro	0,0435	0,0438	0,0512
TOTAL	28 795	34 593	28 551	TOTAL	41 165	39 323	48 905	MÉDIA	0,0457	0,0454	0,0496

6.4 Valores de leitura do contador de energia elétrica

Contador de energia elétrica – quadro geral									
Data de medição	Intervalo de tempo entre levantamentos (horas)	Vazio (kWh)	Super Vazio (kWh)	Cheia (kWh)	Ponta (kWh)	Indutiva (kWh)		Capacitiva (kWh)	
						VT	FV	VT	FV
Dia 14 - 10:40		259627	131012	452960	136969	63276	107871	54440	36574
Dia 17 - 16:20	77,67	260606	131217	453629	137235	63511	108020	54445	36582
Dia 18 - 12:40	20,33	260683	131383	453869	137337	63550	108071	54445	36591
Dia 21 - 13:25	72,92	260912	131861	454937	137642	63668	108282	54445	37642
Consumo entre períodos de medição (kWh)									
Dia 14 – 17 (sexta-feira a segunda-feira)		979	205	669	266	235	149	5	8
Dia 17 – 18 (segunda-feira a terça-feira)		77	166	249	102	39	51	0	9
Dia 18 – 21 (terça-feira a sexta-feira)		229	478	1068	305	118	211	0	51
Total – 14 a 18 de fevereiro		2713				474		22	
TOTAL – 14 a 21 de fevereiro		4793				803		73	

6.5 Cálculo do caudal de ar novo

$$\dot{m}_{insuflação} = \dot{m}_{retorno} + \dot{m}_{ar\ novo}$$

$$Q_{insuflação} \times v_{insuflação} = Q_{retorno} \times v_{retorno} + Q_{ar\ novo} \times v_{ar\ novo}$$

Dado que as condutas têm as mesmas dimensões:

$$5,0 v_{insuflação} = 3,9 \times v_{retorno} + V_{ar\ novo} \times v_{ar\ novo}$$

Os valores de volume específico são dados de acordo com os dados de temperatura e humidade absoluta de acordo com a seguinte equação:

$$v = 0,2871 (T_{bs} + 273,15)(1 + 1,6078 W)/p$$

Onde:

v – volume específico do ar, em m^3/kg ;

T_{bs} – temperatura de bolbo seco, em $^{\circ}C$;

W – humidade absoluta do ar, em $kg_{vapor}/kg_{ar\ seco}$;

p – pressão absoluta, em kPa.

Utilizando as equações (4), (5) e (14), obtêm seguintes valores de volume específico:

$$v_{insuflação} \cong 0,900 m^3/kg$$

$$v_{retorno} \cong 0,883 m^3/kg$$

$$v_{ar\ novo} \cong 0,835 m^3/kg$$

A velocidade do ar novo é então:

$$V_{ar\ novo} = 1,265 m/s \leftrightarrow Q_{ar\ novo} = 3005,6 m^3/s$$

A carga de aquecimento é dada pelo balanço energético:

$$\dot{m}_{insuflação} \times h_{insuflação} = \dot{m}_{retorno} \times h_{retorno} + \dot{m}_{ar\ novo} \times h_{ar\ novo} + Q_{aquec.}$$

A entalpia específica do ar é dada por:

$$h = 1,006 T + W(2501 + 1,86 T)$$

$$Q_{aquec.} = 11880 \div 0,9 \times 80,97 - 3005,6 \div 0,835 \times 39,43 - 9266,4 \div 0,883 \times 77,84$$

$$Q_{aquec.} = 110 MJ/h = 30,6 kW$$

6.6 Condições de minimização de perdas por evaporação

Condição a)

$$\begin{aligned}
 (\rho_r - \rho_w) = 0 &\Leftrightarrow v_r = v_w \Leftrightarrow \\
 \frac{0,287042 (T_{piscina} + 273,15) \left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{p_{sat.T_{piscina}}}{p - p_{sat.T_{piscina}}}\right)}{p} &= \frac{0,287042 (T_{ar} + 273,15) \left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{p_{ar}}{p - p_{ar}}\right)}{p} \\
 \Leftrightarrow (T_{piscina} + 273,15) \left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{p_{sat.T_{piscina}}}{p - p_{sat.T_{piscina}}}\right) &= (T_{ar} + 273,15) \left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{p_{ar}}{p - p_{ar}}\right) \\
 \text{Com } p_{ar} = \frac{p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi}{100} & \\
 T_{ar} = (T_{piscina} + 273,15) \frac{\left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{p_{saturado @ } T_{piscina}}{p - p_{saturado @ } T_{piscina}}\right)}{\left(1 + 1,607858 \times 0,621945 \times \frac{\frac{p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi}{100}}{p - \frac{p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi}{100}}\right)} - 273,15 &
 \end{aligned}$$

Condição b)

$$\begin{aligned}
 W_w = W_r &\Leftrightarrow W_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}} = W_{ar @ } T_{ar, \phi} \\
 \frac{p_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}}}{p - p_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}}} &= \frac{p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi}{p - p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi \\
 p_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}} &= p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi
 \end{aligned}$$

Condição c)

$$\begin{aligned}
 p_w = p_r &\Leftrightarrow p_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}} = p_{ar @ } T_{ar, \phi} \\
 p_{ar \text{ saturado @ } T_{piscina}} &= p_{ar \text{ saturado @ } T_{ar}} \times \phi
 \end{aligned}$$

6.7 Perdas por evaporação (NP 4448:2007)

Temperatura da água [K]	301,15 – 28°C
Calor latente de vaporização à temperatura da água [kJ/kg]	2435,22
Pressão parcial do vapor no ar saturada de à temperatura da água [Pa]	3825,6

Temperatura do ar da nave [K]	298,15 – 25°C		299,15 - 26°C		300,15 - 27°C		301,15 - 28°C		301,15 - 29°C	
Humidade relativa [%]	70	85	70	85	70	85	70	85	70	85
Pressão parcial de vapor de água no ar da nave [Pa]	2243,6	2724,4	2381,0	2891,2	2525,648	3066,9	2677,895	3251,7	2838,071	3446,2
Velocidade – 0,0 [m/s]										
Energia perdida por evaporação [kJ/h]	148702	103509	135789	87829	122192	71318	107881	53940	92824	35657
Massa de água evaporada [kg/h]	61,0	42,5	55,7	36,0	50,0	29,3	44,3	22,1	38,1	14,6
Velocidade – 0,15 [m/s]										
Energia perdida por evaporação [kJ/h]	172272	119916	157313	101751	141561	82623	124981	62491	107538	41310
Massa de água evaporada [kg/h]	70,0	49,2	64,5	41,7	58,1	33,9	51,3	25,6	44,1	16,9

6.8 Perdas por evaporação (Shah, 2012)

Temperatura da água da piscina [K]	301,15 – 28°C
Calor latente de vaporização à temperatura da água da piscina [kJ/kg]	2435,24
Pressão parcial do vapor no ar saturada de à temperatura da água da piscina [Pa]	3825,5
Humidade absoluta no ar saturado à temperatura da água da piscina [kg vapor/kg ar seco]	0,024403
Massa volúmica do ar saturado à temperatura da água da piscina [kg/m ³]	1,127908

Temperatura do ar da nave [K]	298,15 – 25°C		299,15 - 26°C		300,15 - 27°C		301,15 - 28°C		301,15 - 29°C	
Humidade relativa [%]	70	85	70	85	70	85	70	85	70	85
Pressão parcial de vapor de água no ar da nave [Pa]	2243,627	2724,405	2381,000	2891,214	2525,648	3066,859	2677,9	3251,7	2838,1	3446,2
Humidade absoluta no ar da nave [kg vapor/kg ar seco]	0,014084	0,017185	0,014967	0,018268	0,015899	0,019412	0,016883	0,020621	0,017922	0,021898
Massa volúmica do ar da nave [kg/m ³]	1,157742	1,152124	1,152272	1,14633	1,146754	1,140472	1,141185	1,134547	1,135561	1,128549

Temperatura da água da piscina [K]										301,15 – 28°C	
Calor latente de vaporização à temperatura da água [kJ/kg]										2435,24	
Temperatura do ar da nave (K)	298,15 – 25°C		299,15 - 26°C		300,15 - 27°C		301,15 - 28°C		301,15 - 29°C		
Humidade relativa (%)	70	85	70	85	70	85	70	85	70	85	
Velocidades até 0,15 [m/s]											
Energia perdida por evaporação [kJ/h]	123085	80397	105204	62314	87030	44619	68475	27950	49114	18477	
Massa de água evaporada [kg/h]	50,5	33,0	43,2	25,6	35,7	18,3	28,1	11,5	20,2	7,6	

6.9 Tabelas para cálculo de perdas por radiação, convecção e reposição de água

Perdas por radiação

Emitância da água	0,95				
Constante de Stefan – Boltzmann σ [W/m ² .K]	$5,67 \times 10^8$				
Temperatura radiante [K]	297,65 24,5°C	298,65 25,5°C	299,65 26,5°C	300,65 27,5°C	301,65 28,5°C
Energia perdida por radiação [kJ/h]	29145	20922	12616	4226	- 4247 (Ganho)

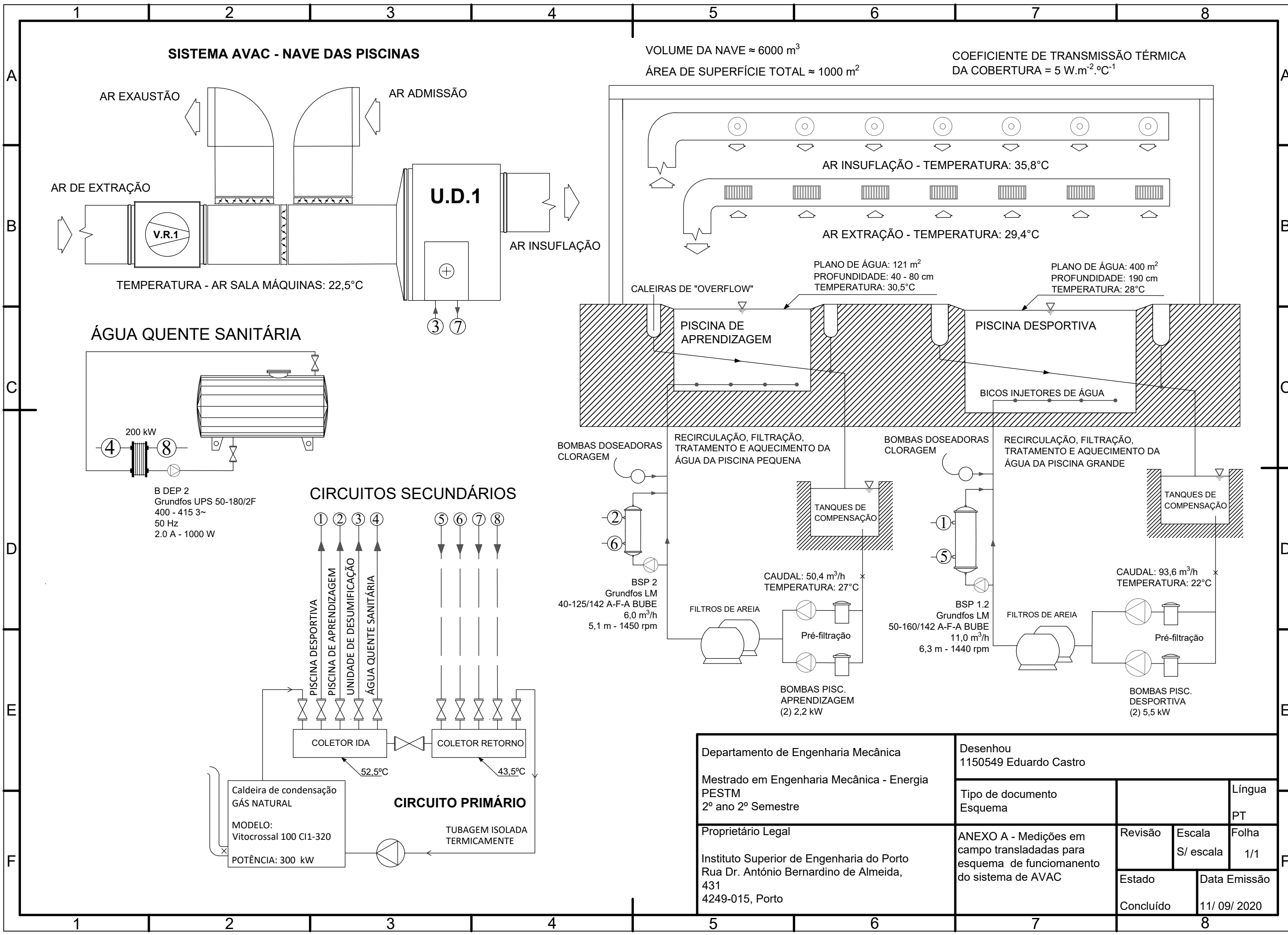
Perdas por convecção

Temperatura do ar [K]	298,15 25°C	299,15 26°C	300,15 27°C	301,15 28°C	301,15 29°C
Velocidade – 0,0 m/s Energia perdida por convecção [kJ/h]	13330	8887	4443	Equilíbrio térmico	- 4443 (Ganho)
Velocidade – 0,15 m/s Energia perdida por convecção [kJ/h]	15975	10650	5325		- 5324 (Ganho)

Perdas por reposição de água

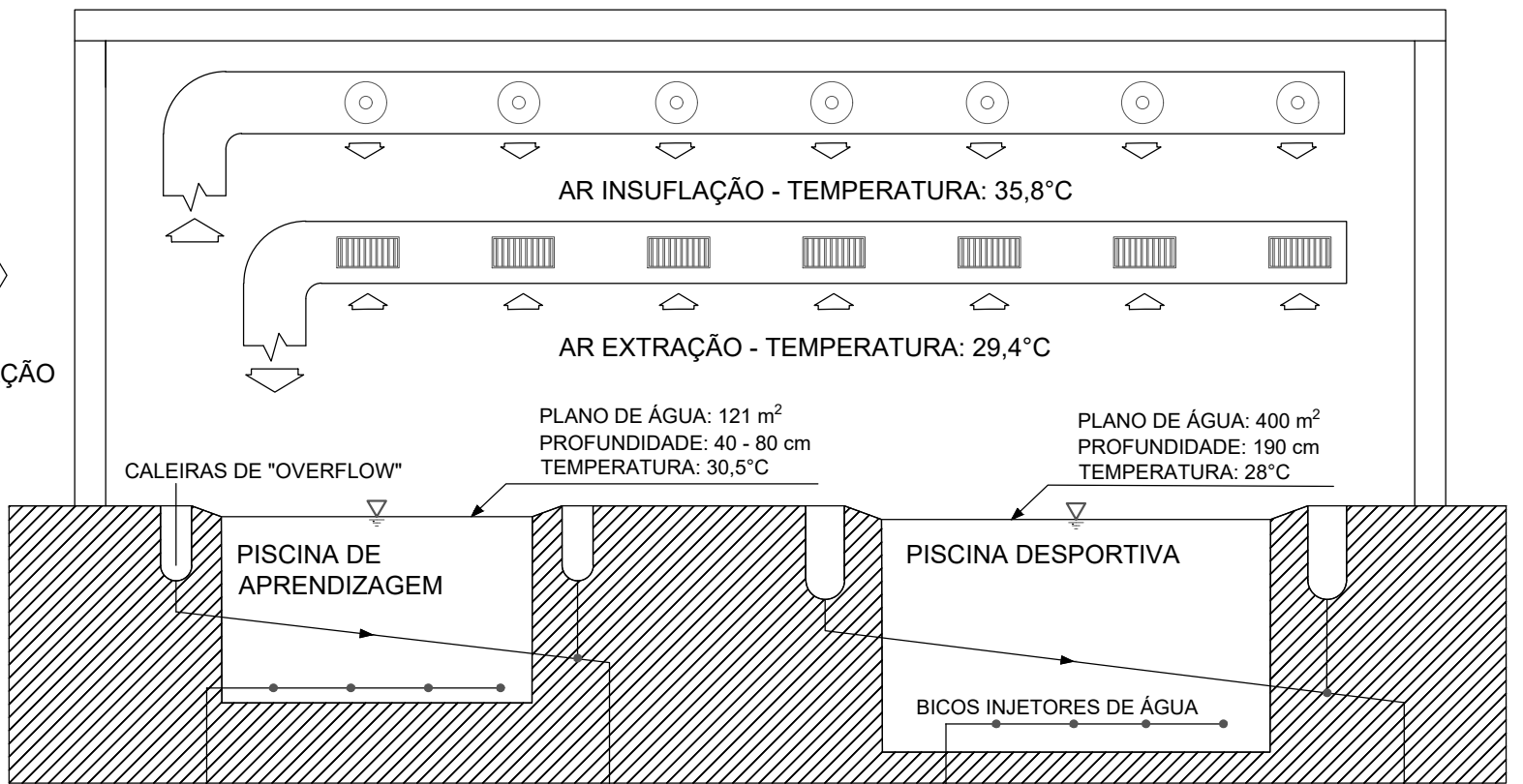
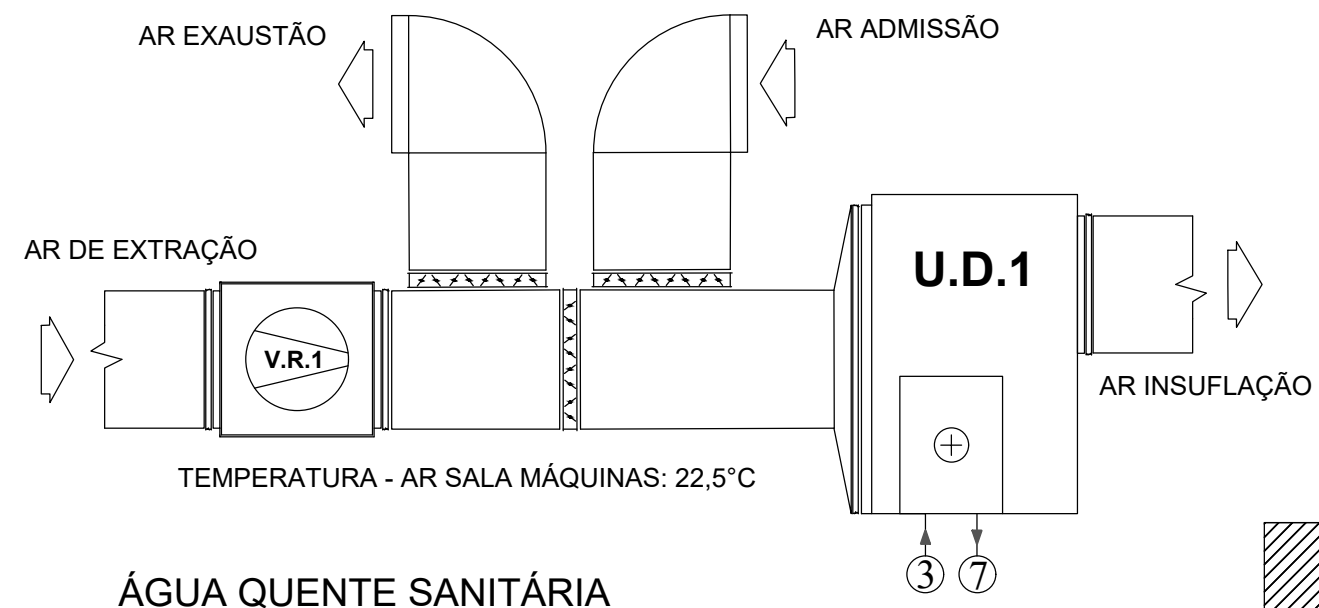
Temperatura da água da piscina [K]	301,15 – 28°C
Calor específico médio [kJ/kg.K]	4,1825
Temperatura da água da rede [K]	288,15 - 15°C

Temperatura do ar da nave [K]		298,15 25°C	299,15 26°C	300,15 27°C	301,15 28°C	301,15 29°C					
Energia de reposição [kJ/h]	NP 4448 0 m/s	3317	2311	3029	1957	2719	1593	2409	1201	2071	793
	NP 4448 0,15 m/s	3806	2675	3507	2267	3159	1843	2789	1392	2398	918
	Shah, 2012	2746	1794	2349	1392	1941	995	1527	625	1098	413

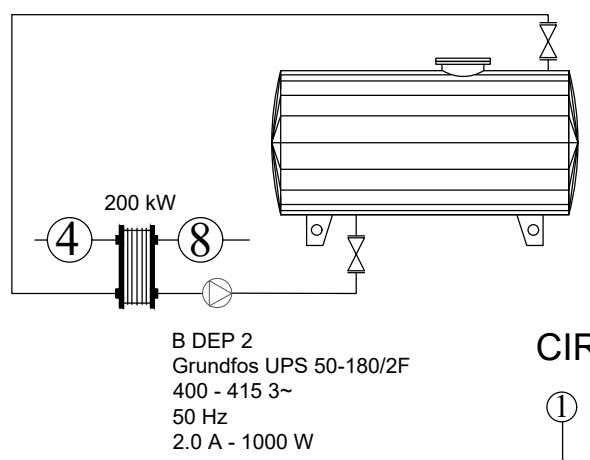


SISTEMA AVAC - NAVE DAS PISCINAS

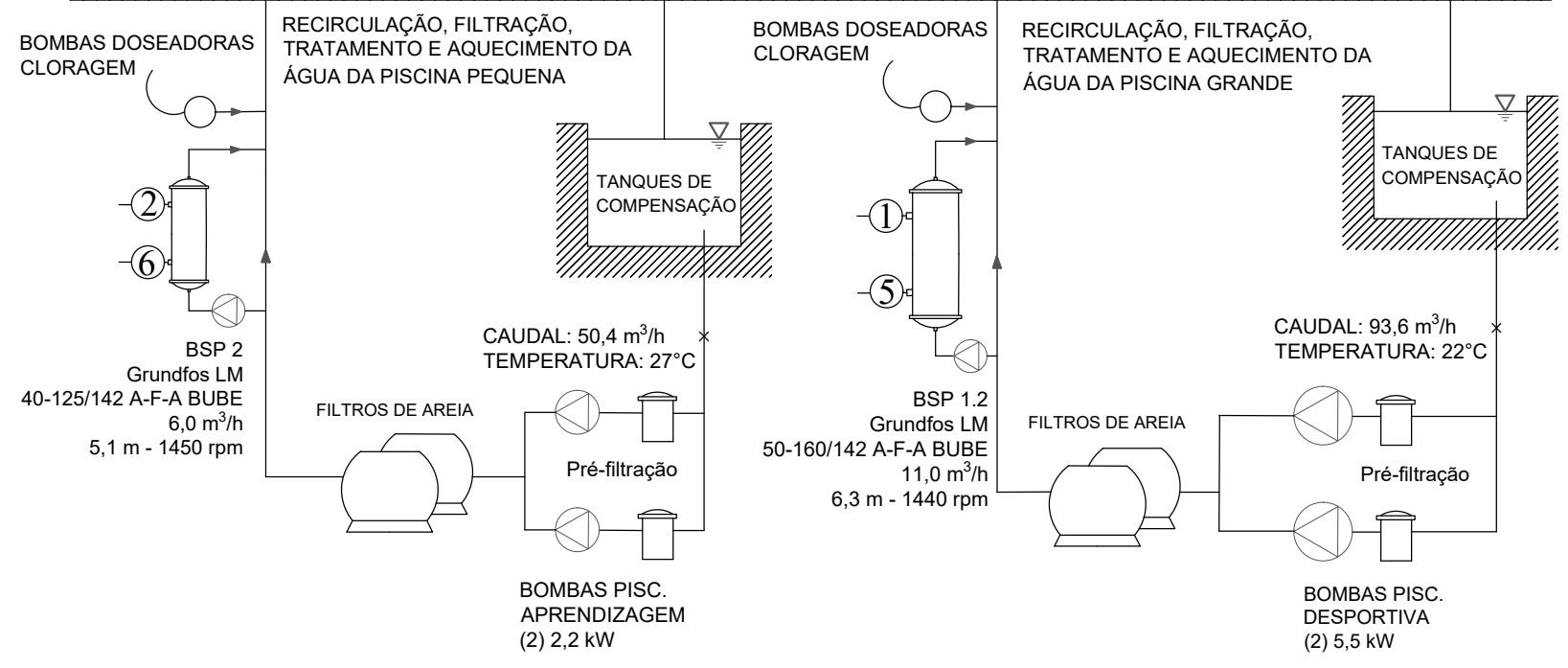
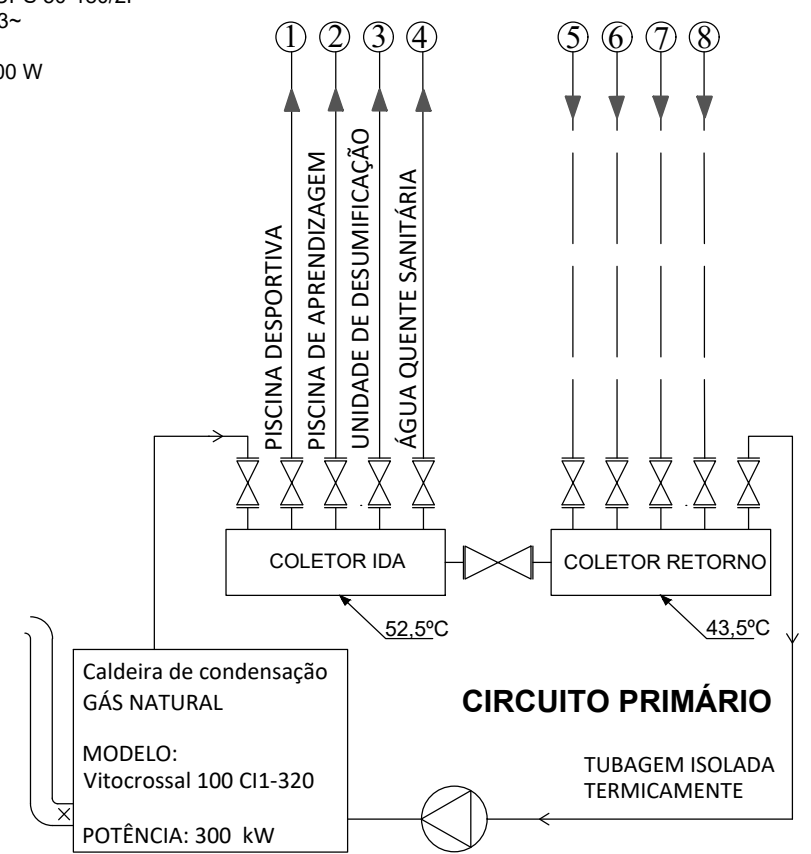
VOLUME DA NAVE ≈ 6000 m³
 ÁREA DE SUPERFÍCIE TOTAL ≈ 1000 m²
 COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA COBERTURA = 5 W.m⁻².°C⁻¹



ÁGUA QUENTE SANITÁRIA



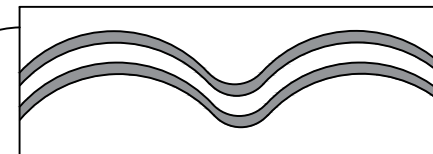
CIRCUITOS SECUNDÁRIOS



Departamento de Engenharia Mecânica		Desenhou 1150549 Eduardo Castro			
Mestrado em Engenharia Mecânica - Energia PESTM 2º ano 2º Semestre		Tipo de documento Esquema		Língua PT	
Proprietário Legal		ANEXO A - Medições em campo transladadas para esquema de funcionamento do sistema de AVAC	Revisão	Escala	Folha
Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015, Porto			Estado Concluído	Escala S/ escala	Folha 1/1
		Data Emissão 11/ 09/ 2020			

Analisador de conforto térmico

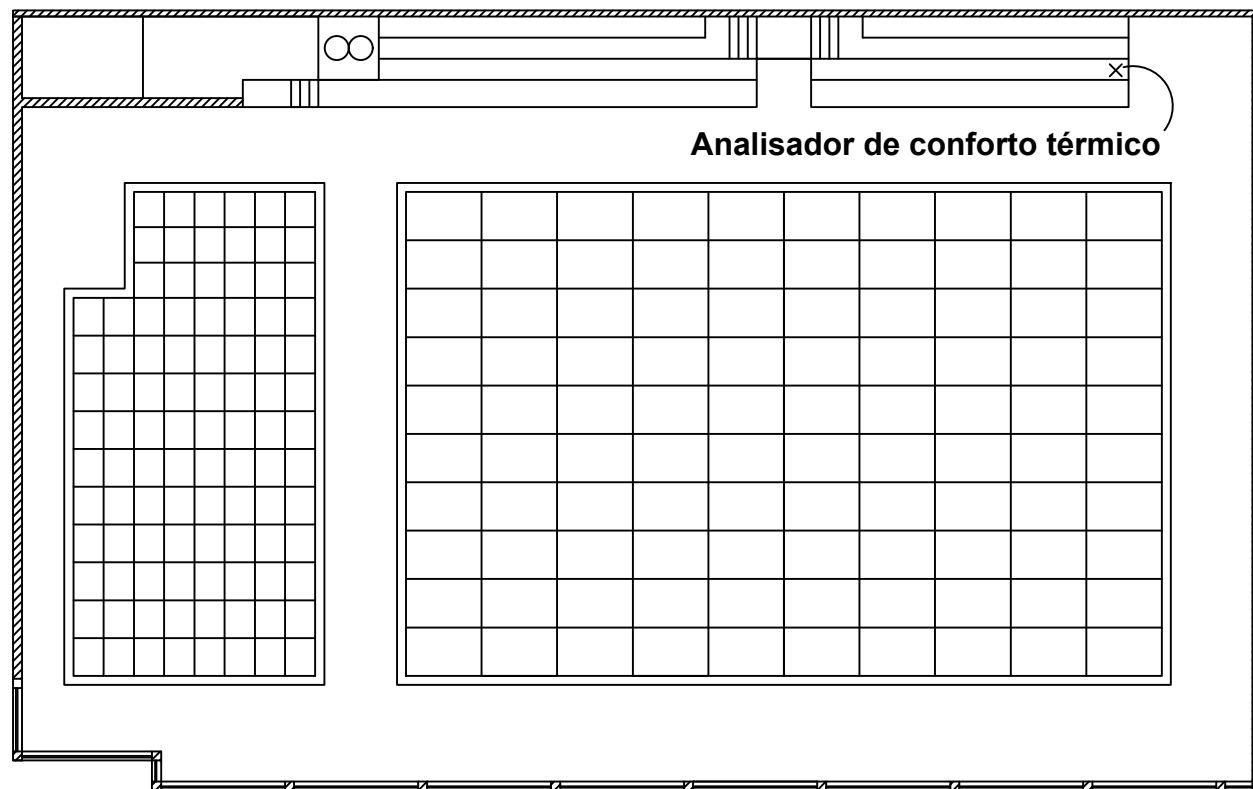
Detalhe - Cobertura



Dupla chapa de aço ondulada
 Condutibilidade do aço: $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 Espessura: 8 mm
 Thermal absorptance: 0,9
 Solar absorptance: 0,4
 Visible absorptance: 0,3

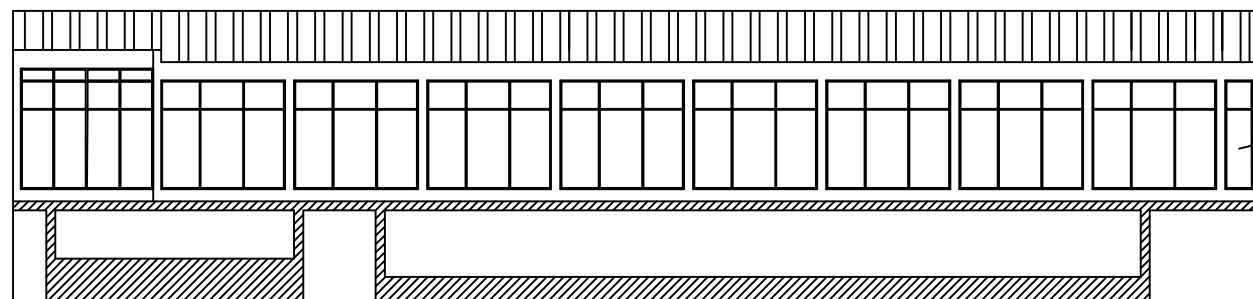
Volume da nave ~ 6000 m³

Corte A-A



Planta da Nave

Área de envidraçados total ~ 122 m²

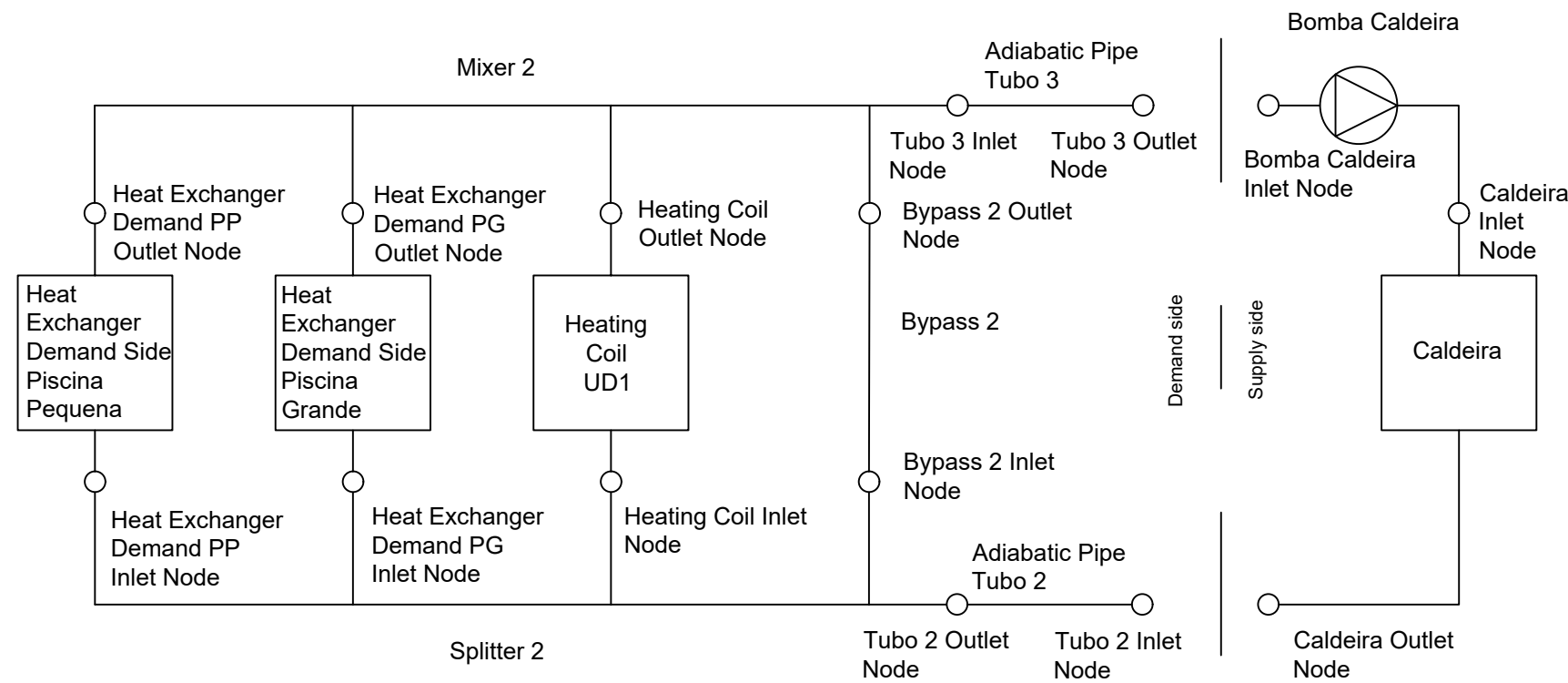


Alçada a Poente

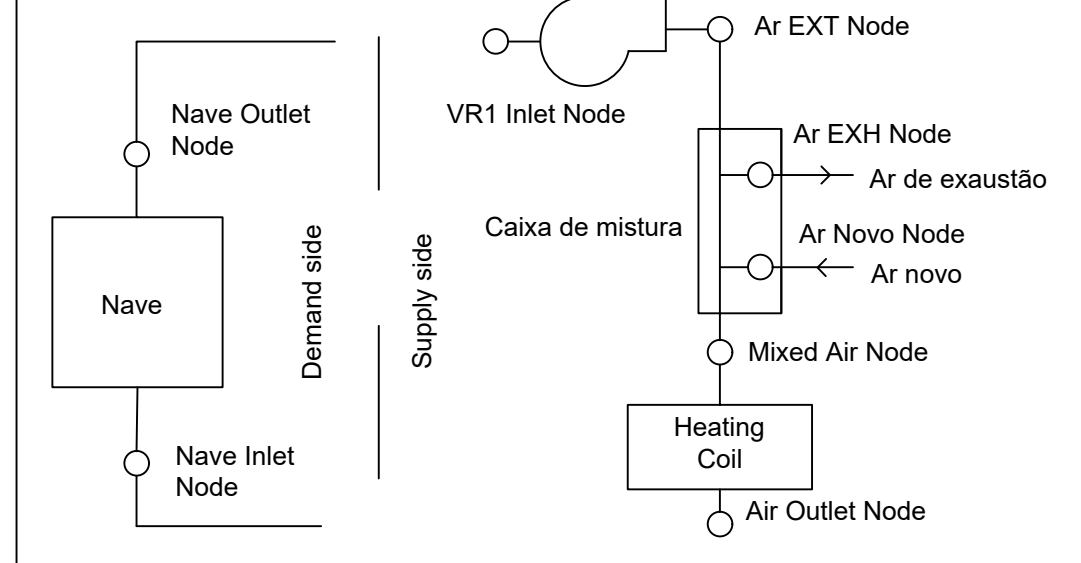
Parede	Construção	b_{tr}	U_{final}
Este	Reboco 1,5 cm Tijolo 17 cm Recobo 1,5 cm	-----	2,50
Norte	Reboco 1,5 cm Tijolo 17 cm Recobo 1,5 cm	0,6	1,50
Sul	Reboco 2 cm Tijolo 11 cm Caixa de ar Tijolo 11 cm Reboco 2 cm	-----	2,35
Oeste	Reboco 2 cm Tijolo 11 cm Caixa de ar Tijolo 11 cm Reboco 2 cm	-----	1,90

Departamento de Engenharia Mecânica Mestrado em Engenharia Mecânica - Energia PESTM 2º ano 2º Semestre	Desenhou 1150549 Eduardo Castro		
	Tipo de documento Esquema		Língua PT
Proprietário Legal Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015, Porto	ANEXO B - Desenho de detalhe de nave de piscinas e anotações	Revisão	Folha 1/1
		Estado Concluído	Data Emissão 11/ 09/ 2020

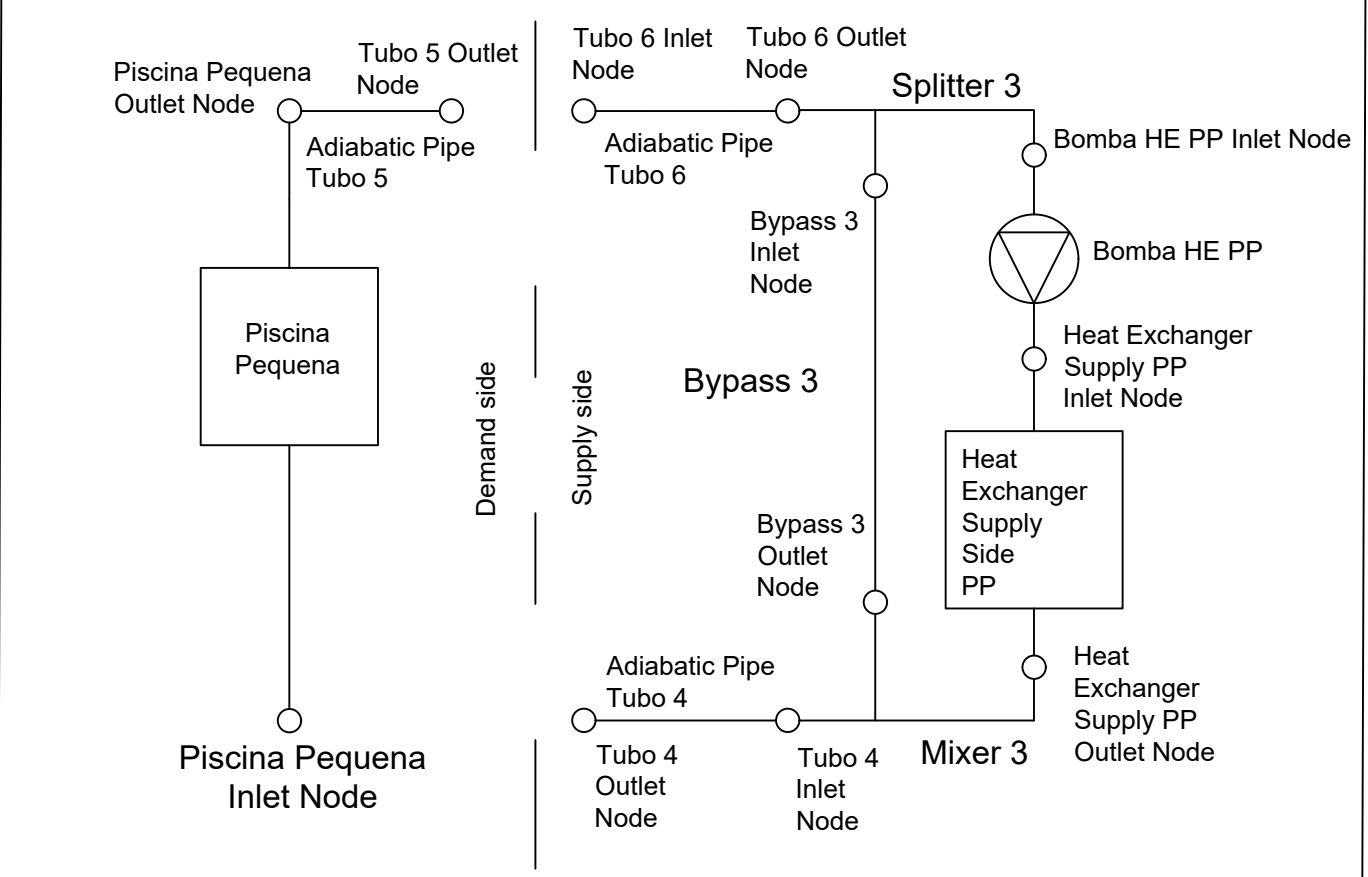
PLANT LOOP: PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO



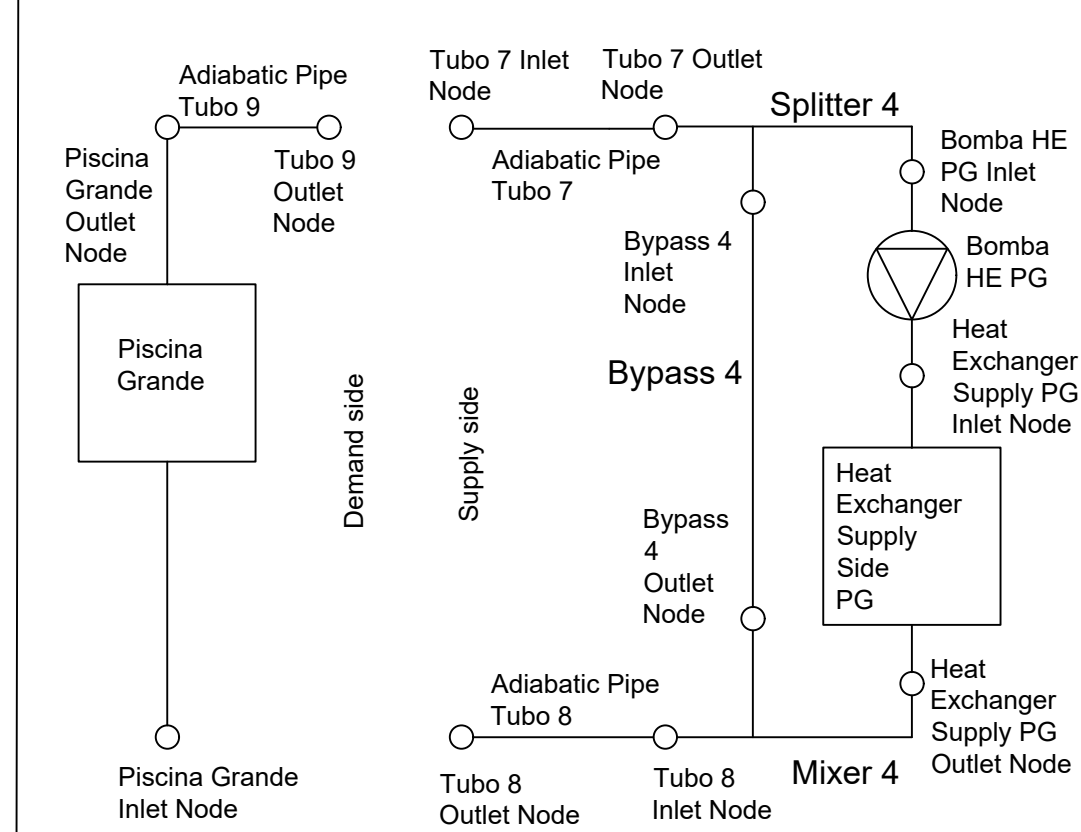
AIR LOOP



PLANT LOOP: P. PEQUENA



PLANT LOOP: P. GRANDE



Departamento de Engenharia Mecânica		Desenhou 1150549 Eduardo Castro		
Mestrado em Engenharia Mecânica - Energia PESTM 2º ano 2º Semestre		Tipo de documento Esquema		Língua PT
Proprietário Legal		Revisão	Escala S/ Escala	Folha 1/1
Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015, Porto		Estado Concluído		Data Emissão 11/ 09/ 2020