



IVAN CARLOS
G.C.SILVA

ANÁLISE DOS SISTEMAS TÉRMICOS DE UMA PISCINA MUNICIPAL NA ZONA METROPOLITANA DE LISBOA

Relatório do Projeto em Engenharia e Gestão de
Energia

Mestrado - Mestrado em Engenharia e Gestão
de Energia na Indústria e nos Edifícios

PRESIDENTE

Prof. Paulo Miguel M. Fontes

ARGUENTE

Prof. João Francisco dos S. Fernandes

ORIENTADOR

Prof. Rogério José S.C. Duarte

Novembro de 2022

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer o valiosíssimo contributo ao Professor Doutor Rogério Duarte, orientador desta tese, pela total disponibilidade e apoio desde do arranque deste trabalho, pelos esclarecimentos prestados, disponibilidade para deslocações ao complexo estudado e cuja orientação tornou possível a conclusão deste estudo.

À direção técnica e à equipa de manutenção da piscina estudada por todo apoio e disponibilidade demonstrada na prestação dos esclarecimentos durante as visitas técnicas.

Aos meus amigos e todos os meus colegas, que estiveram sempre presentes durante o meu percurso académico e nos tempos de lazer.

A todos funcionários e professores do IPS, que tudo fazem para manter o nosso estabelecimento como um dos melhores do país.

Finalmente, aos meus pais e à minha família em geral, pelo apoio durante todos estes anos, proporcionando todas as condições necessárias para a minha formação académica e pessoal.

Finalmente, a Ti em muito especial, por estares sempre do meu lado, por ajudares-me a ser quem sou hoje. Obrigado por fazeres parte da minha linda história.

A todos, muito obrigado!

Resumo

A decisão por um investimento numa piscina interna é sempre difícil. Não só pelo elevado investimento inicial como, pelos elevados custos de exploração que caracterizam estes equipamentos desportivos, comumente o triplo (ou mais) dos custos de exploração de estádios ou pavilhões multiusos.

Confrontados com a enormidade das despesas associadas a piscinas interiores, despesas estas devidas numa elevada percentagem ao consumo de energia térmica, os decisores autárquicos são sensíveis a argumentos de eficiência energética e aproveitamento de energias renováveis que, apesar de encarecer a obra, reduzem os custos de exploração. Contudo, fatores diversos como; comissionamento inadequado (aquando do desenvolvimento do projeto e instalação), monitorização e controlo deficiente dos equipamentos, manutenção desadequada, podem resultar no subaproveitamento do potencial de poupança de uma instalação. Um outro fenómeno que é, infelizmente, frequente em organizações públicas é a ausência de comunicação entre as diversas partes responsáveis pelos processos de gestão da instalação, gestão da energia e manutenção. Quando se dá esta circunstância fica-se no completo desconhecimento do real impacte de investimentos energéticos o gestor apenas sabe que o investimento em equipamentos mais eficientes e em energias renováveis não surtiu o efeito desejado.

O presente documento resultou de um desafio lançado por uma agência de energia da região metropolitana de Lisboa e consistiu na avaliação dos sistemas térmicos de uma piscina municipal inaugurada recentemente. Após a identificação (teórica) das razões subjacentes aos elevados consumos de energia em piscinas, faz-se uma breve recapitulação das soluções de engenharia térmica de uso corrente em piscinas, sem esquecer as soluções renováveis (e de natureza passiva) que permitem reduzir a fatura energética. Seguem-se dois capítulos onde se analisa em detalhe: primeiro, o projeto de execução dos sistemas mecânicos-térmicos e, seguidamente, os sistemas propriamente ditos, tal como se encontram instalados. Com estes capítulos aprofunda-se o conhecimento sobre a instalação e sobre o modo como esta se comporta do ponto de vista energético. Questionam-se grandes opções e identificam-se pequenos aspetos relativos ao controlo e ao equilíbrio hidráulico dos sistemas que permitiriam poupanças no consumo de energia e/ redução de custos. Conclui-se o documento com propostas de medidas que auxiliariam a autarquia proprietária da piscina na sua gestão energética.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Piscina municipal coberta, Projeto instalações mecânicas, Produção de calor, Painéis solares, Desumidificação.

Abstract

The decision to invest in an indoor pool is always difficult. Not only because of the high initial investment, but also because of the high operating costs that characterize these sports facilities, commonly, triple (or more) the costs of operating stadiums or multipurpose pavilions.

Faced with the enormity of expenses associated with indoor swimming pools (essentially, a result of large energy consumption for heating), municipal decision makers are sensitive to arguments of energy efficiency and use of renewable energies which, despite increased investments, reduce the costs of exploration. However, several factors such as; Inadequate commissioning (during project development and installation), poor monitoring and control of equipment, inadequate maintenance, can result in the underutilization of an installation's savings potential. Another phenomenon that is, unfortunately, frequent in public organizations is the lack of communication between the different parties responsible for the installation management, energy management and maintenance processes. When this circumstance occurs, there is a complete lack of knowledge of the real impact of energy investments the manager only knows that the investment in efficient equipment and in renewable energies did not have the desired effect.

This document resulted from a challenge launched by an energy agency in the Lisbon metropolitan region and consisted of the assessment of the thermal systems of a recently opened municipal swimming pool. After the (theoretical) identification of the underlying reasons for the high energy consumption in swimming pools, a brief summary of the thermal engineering solutions currently in use in swimming pools is made, without forgetting the renewable (and passive) thermal systems. Next, in two separate chapters, the swimming pool thermal systems project and the systems themselves, as they were installed are the subject of a detailed analysis. These chapters deepen knowledge about the installation and how it behaves from an energy point of view. Large options are questioned, and small aspects (which translate into energy savings) are identified regarding the control and hydraulic balance of the systems. The document concludes with proposals for measures that would help the municipality that owns the pool in its energy management.

Keywords: Energy efficiency, Municipal indoor swimming pool, Heat production, Solar panels, Dehumidifiers.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	viii
Capítulo 1 : Introdução	1
1.1. Objetivo	3
1.2. Organização	3
Capítulo 2 : Fundamentos teóricos	4
Identificação dos sumidouros de energia térmica em piscinas interiores ..	4
2.1. Balanço energético na água do tanque.....	5
2.2. Balanço energético no ar da nave	8
2.3. Balanço energético às águas quentes sanitárias.....	10
Capítulo 3 : Soluções de engenharia	11
Considerações prévias, produção de calor e desumidificação	11
3.1. Considerações prévias	12
3.2. Sistema de produção de calor com caldeira.....	13
3.3. Aproveitamento de energia solar térmica	14
3.4. Desumidificação	16
Capítulo 4 : Estudo de caso – Parte I	18
Sistemas térmicos tal como especificado no projeto de execução	18
4.1. A envolvente do edifício	21
4.2. Caudais e distribuição do ar na nave do tanque de natação	22
4.3. Sistema de produção de calor e aproveitamento de fontes de energia renovável	23
4.4. Desumidificação e tratamento do ar da nave do tanque de natação ..	25
4.5. Rede hidráulica de distribuição de calor.....	25
Capítulo 5 : Estudo de caso – Parte II	28

Sistemas térmicos instalados.....	28
5.1. A envolvente do edifício.....	28
5.2. Caudais e distribuição do ar na nave do tanque de natação.....	29
5.3. Sistema de produção de calor e aproveitamento de fontes de energia renovável	29
5.4. Desumidificação e tratamento do ar da nave do tanque de natação..	30
5.5. Rede hidráulica de distribuição de calor	31
5.6. Gestão técnica centralizada e controlo de processos	34
5.7. Tratamento de dados de consumo total de energia	35
Capítulo 6 : Discussão	36
6.1. O projeto dos sistemas térmicos	36
6.2. Os sistemas térmicos instalados	37
6.3. Medidas de auxílio na gestão da energia	38
6.4. Conclusão	39
Bibliografia	40

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Consumo específico anual (kWh por m ² de área) em diferentes tipologias de equipamento de prática desportiva (Fontes, 2015, p.12, baseado em Oliver-Solà, 2013).	2
Figura 2.1 – Massa de água do tanque onde se realiza o balanço de energia. Identificação de trocas de energia e massa com a envolvente.	6
Figura 2.2 – A massa de ar da nave do tanque onde se realiza o balanço de energia com representação das trocas de calor com a envolvente.	8
Figura 2.3 – Depósito de água quente para AQS onde se realiza o balanço de energia.	10
Figura 3.1 – Circuito hidráulico interligando vários (até n) produtores P e vários (até n) consumidores C.	14
Figura 3.2 – Associação de coletores solares com retorno invertido (ASHRAE, 2016c).	15
Figura 3.3 – Acumulação de energia “solar” com depósito de “drain back” (FSEC, 2006, p.2.23).	15
Figura 3.4 – Esquízo representando uma evolução psicrométrica de desumidificação via ciclo frigorífico por compressão de vapor.	16
Figura 3.5 – Esquema de unidade desumidificadora com mistura entre ar recirculado e ar novo e bateria de aquecimento auxiliar (auxiliary heating coil).	17
Figura 3.6 – Princípio de funcionamento de permutador de calor de tipo <i>caloduc</i> envolvendo o evaporador.	17
Figura 4.1 – Planta do Piso 0 do edifício da Piscina Municipal.	18
Figura 4.2 – Planta do Piso -1 do edifício da Piscina Municipal com identificação de grelhas de aspiração de ar na nave do tanque (na fachada SE pelo interior, no paramento onde assentam os vãos envidraçados).	19

Figura 4.3 – Planta à cota da cobertura da zona de serviços com identificação (a NO) da localização dos difusores de insuflação de ar na nave do tanque (cota 5,5 m. aproximadamente). ...	20
Figura 4.4 – Planta da cobertura do edifício da Piscina Municipal com identificação, sobre a nave do tanque, dos painéis solares térmicos.....	21
Figura 4.7 – Energia solar mensal média produzida face a requerida (baseado no <i>Solterm</i>).....	24
Figura 4.7 – Pormenor de distribuidor-coletor onde se recebe energia térmica dos produtores e se distribui energia térmica pelos consumidores.....	26
Figura 4.7 – Pormenor de circuito hidráulico para produção de água quente solar.	27
Figura 4.8 – Circuito hidráulico associado à produção de energia solar. .	32

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Características típicas de temperatura e humidade relativa em piscinas interiores (ASHRAE, 2019).....	4
Tabela 4.1 – Características térmicas da envolvente do edificado na nave do tanque (in Projeto de Execução de Instalações Mecânicas).	21
Tabela 4.2 – Necessidades térmicas consideradas no Projeto de Execução.	23
Tabela 4.3 – Características principais da unidade desumidificadora.....	25

Capítulo 1 : Introdução

Fruto de políticas públicas que conduziram a um aumento da qualidade de vida dos cidadãos, reduzindo as horas de trabalho, o desporto surgiu, naturalmente, como forma de ocupação dos tempos livres. Despido do cariz competitivo do passado, o desporto é, hoje em dia, entendido como um direito que a todos assiste ver Carta Europeia do Desporto para Todos, Conselho da Europa, 1975, e, ainda, a Lei de Bases da Atividade Física e do Desporto (LBAFD) (in Gonçalves, 2015, p.32).

A prática de desporto como vetor de combate à sedentarização e da promoção do bem-estar adquire, nas políticas públicas, um estatuto idêntico ao dos cuidados de saúde primários. À prática de desporto, quando democratizada ou seja, a todos acessível independentemente de condição económica e sociocultural, cabe ainda o papel de integrador social, de cimento para a criação de comunidades multigeracionais e pluriculturais; contribuindo para a harmonia social.

É neste contexto de promoção do bem-estar e da equidade social que se entende o comprometimento de governos centrais e de órgãos de gestão locais no desenvolvimento de equipamentos indispensáveis à persecução da prática desportiva¹. Porém, o desenvolvimento e a manutenção de equipamentos desportivos acarreta custos. A boa gestão das finanças públicas e autárquicas depende da adequada construção e exploração dos muitos equipamentos desportivos a cargo dos municípios; a saber (como em Sarmento 2014, in Gonçalves, 2015, p.40): grandes campos (de rugby, futebol), pequenos campos (de ténis, padel), pavilhões mono- e multi-desportivos, salas de desporto (ginásios), pistas de atletismo e, piscinas.

Numa análise dos custos de exploração associados aos equipamentos desportivos acima referidos destaca-se, claramente, aqueles das piscinas interiores; com elevadíssimos custos fixos de exploração, muito por culpa do consumo de energia. A Figura 1.1, extraída de Fontes (2015, p.12) adapta informação recolhida do artigo de Oliver-Solà (2013) relativa a consumos específicos anuais (por m² de área coberta) de diferentes tipologias de edifícios públicos na região de Barcelona, Espanha.

É patente na Figura 1.1 o incremento em 3 ou mais vezes do consumo em piscinas interiores face aos restantes equipamentos desportivos. A figura não o permite concluir mas, a discrepância no consumo resulta das muito superiores necessidades de energia térmica das piscinas---leia-se, de calor, obtido usualmente pela queima de gás.

¹ Ver, a propósito da relação entre desporto, política e autarquias, o livro de Constantino (1999).

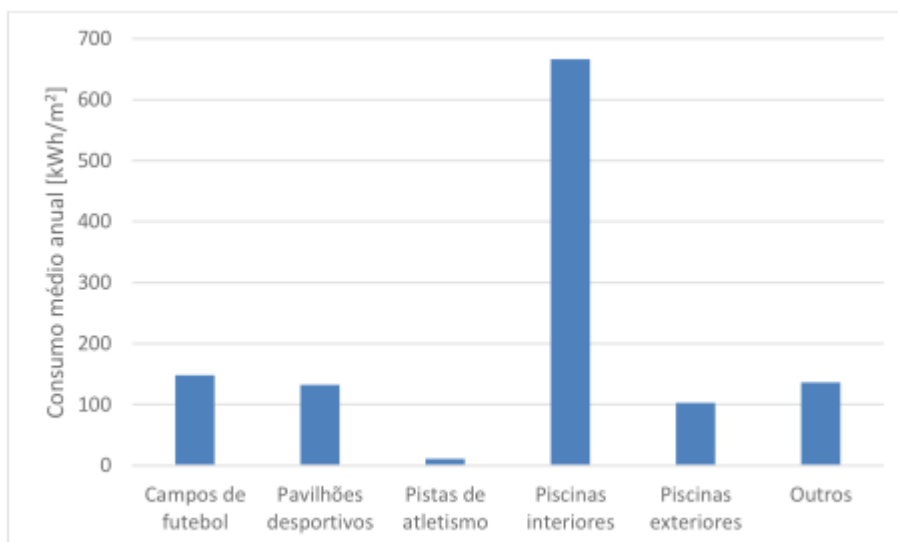


Figura 1.1 – Consumo específico anual (kWh por m² de área) em diferentes tipologias de equipamento de prática desportiva (Fontes, 2015, p.12, baseado em Oliver-Solà, 2013).

Sendo que esta discrepância ocorre num contexto legislativo apertado; ou seja, na presença de legislação nacional e europeia que visa assegurar boas práticas no dimensionamento e exploração destes equipamentos², conclui-se que o elevado consumo de piscinas não resulta de falta de legislação é, antes, uma característica intrínseca do equipamento. Importa, então, entender as origens do elevado consumo e, porque a variância no consumo de piscinas é muito elevada ver Figura 1.2, importa igualmente analisar quais as soluções conducentes aos menores custos de exploração.

² Para o panorama nacional e, no que diz respeito a piscinas, existe a legislação/ diretiva relativa a segurança, definindo (entre outros) as condições de recirculação e tratamento da água dos tanques, que afetam o consumo de energia:

- Decreto-Lei n.º 65/97 de 31 de março
- Decreto-Regulamentar n.º 5/97 de 31 de março
- Diretiva CNQ (Conselho Nacional de Qualidade) n.º 23/93 de 24 de maio

Existe legislação específica sobre o consumo de energia ao abrigo do SCE, nomeadamente,

- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto

onde se especifica para a fase pós-ocupação necessidade de monitorização periódica dos consumos e verificação de condições de manutenção de sistemas térmicos e sistemas de gestão centralizada.

Para o caso de sistemas solares térmicos de apoio a piscinas, existe a norma NP 4448:2008. E, as normas ISO EN 15288-1:2008 e ISO EN 15288-2:2008 são normas internacionais sobre segurança em piscinas.

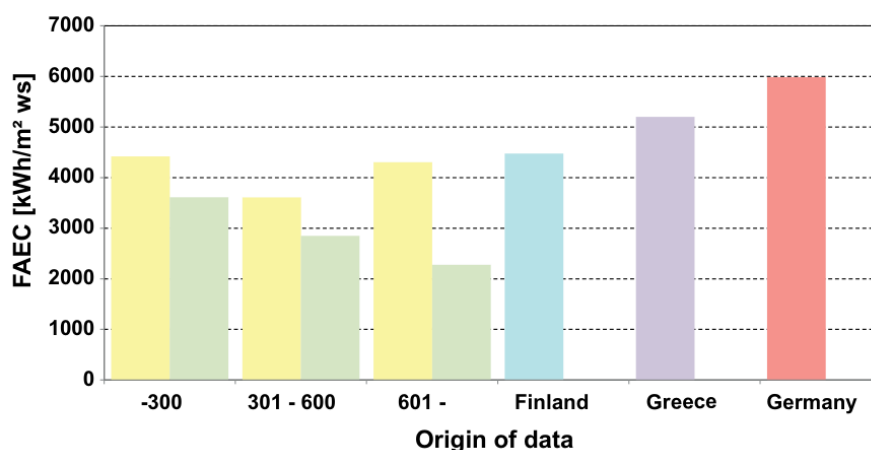


Figura 1.2 – Variação do consumo específico anual (kWh por m2 plano de água) considerando bases de dados de diferentes países (Kampel, 2013, p.185). A amarelo dados da Noruega e a verde da Dinamarca. Os valores numéricos em abcissas representam a área da piscina, menor que 300 m2, entre 300 e 600 m2 e superior a 600 m2.

1.1. Objetivo

Partindo de um projeto recente³ de uma piscina municipal localizada na região metropolitana de Lisboa, o presente trabalho tem por objetivo: (i) analisar o projeto dos sistemas mecânicos de produção de energia térmica tendo em conta o estado da arte neste tipo de sistemas; (ii) discutir o modo como estes sistemas se encontram a funcionar, atendendo à instalação e manutenção entretanto implementada; (iii) propor medidas que auxiliem a autarquia responsável pela piscina na gestão dos consumos de energia.

1.2. Organização

O presente documento organiza-se do seguinte modo. Após a introdução dedica-se um capítulo o Capítulo 2 à discussão das origens dos elevados consumos de energia térmica em piscinas interiores. Analisam-se os princípios físicos subjacentes às trocas (perdas) de calor estabelecendo-se a base para compreender o porquê dos elevados consumos de energia.

Identificadas as necessidades de energia térmica em piscinas interiores, no Capítulo 3 discute-se brevemente soluções convencionais de redução das necessidades de calor, de produção de calor e, a oportunidade que representa optar pelo uso de energias renováveis como forma de minimizar consumos e custos de energia.

Terminada a contextualização do tema, prossegue-se, colocando o enfoque no estudo de

³ O projeto é do final da década 2010 tendo sido a obra concluída---e a piscina inaugurada---em 2021.

caso de uma piscina interior na região metropolitana de Lisboa. O Capítulo 4 descreve a piscina tendo em conta as especificações do projeto dos sistemas mecânicos para produção de calor. O capítulo inclui, quando pertinente, comentários às soluções projetadas, tendo em consideração o atual estado da arte e soluções renováveis expostas no Capítulo 3. Faz-se ainda uma análise do esquema de princípio hidráulico que permite suprir e interliga as diferentes necessidades de energia térmica.

O estudo de caso é aprofundado no Capítulo 5 com a descrição dos sistemas térmicos efetivamente instalados. Confronta-se o sistema instalado com aquele projetado; discutem-se os procedimentos de gestão da energia implementados.

O Capítulo 6 começa pela discussão das diferenças entre projeto e instalação, encerrando o documento com a apresentação das conclusões do trabalho.

Capítulo 2 :

Fundamentos teóricos

Identificação dos sumidouros de energia térmica em piscinas interiores

Entende-se neste trabalho por “piscina interior” um edifício constituído por uma nave principal de elevado pé-direito, iluminada naturalmente, que alberga o tanque (ou tanques) de natação e respetivo(s) cais e, por uma zona anexa que inclui átrio de entrada, e serviços de apoio às atividades do(s) tanque(s); nomeadamente, secretaria, sala de primeiros socorros, sala de instrutores e balneários (femininos, masculinos e de crianças). Usualmente, num piso abaixo do solo e/ ou na cobertura do edifício localizam-se espaços técnicos que alojam os equipamentos de suporte ao funcionamento da piscina.

Sendo a prática desportiva realizada na ausência de vestuário, as temperaturas quer da água do tanque quer do ar na nave principal (e balneários) deve exceder em 5 a 8 K (ASHRAE, 2019) a temperatura habitual em espaços interiores. A Tabela 2.1 apresenta valores típicos em piscinas interiores.

Tabela 2.1 – Características típicas de temperatura e humidade relativa em piscinas interiores (ASHRAE, 2019).

Temperatura ambiente [°C]	Humidade relativa ambiente [%]	Temperatura da água [°C]
24-29	50-60	24-29

Considerando as dimensões habituais de tanques principais com 6 pistas, $25 \times 12,5 = 312,5$ m² de superfície e profundidade média de aproximadamente 1,5 m, têm-se volumes de água de aproximadamente 470 m³. Conclui-se daqui a elevada massa de água a manter a uma temperatura também elevada de ~27°C e, consequentemente, os gastos que daí advêm.

Sendo as naves do tanque espaços amplos, com elevado pé-direito e com área em planta sempre superior a 312,5 m², permitindo albergar o cais e, frequentemente, zona para espectadores, é também elevado o volume de ar que é preciso manter a ~27°C (e com humidade relativa ~60%). Justifica-se também para o ar da nave e, especialmente durante a estação de aquecimento, elevados gastos de energia⁴.

No que diz respeito aos balneários, estes representam um consumo de água quente para banhos que depende da taxa de ocupação da piscina.

Identificam-se, portanto, três fontes principais de consumo de energia térmica em piscinas cobertas⁵:

- i) Manutenção das condições de utilização do tanque.
- ii) Manutenção das condições higrotérmicas do ar da nave do tanque (e nos serviços de apoio, designadamente, balneários).
- iii) Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) para balneários.

Nas próximas secções introduzem-se os balanços energéticos que permitem uma análise mais detalhada do consumo de energia em piscinas interiores.

2.1. Balanço energético na água do tanque

O coração da piscina é o tanque principal. A legislação impõe a recirculação da água do tanque garantindo o tratamento (filtração) de toda a massa de água, no máximo, a cada 8 horas⁶. Admite-se que esta recirculação de água é conseguida sem perdas de calor. Porém, ao longo

⁴ Raciocínio idêntico é aplicável ao ar dos balneários.

⁵ Repare-se que nos concentramos na energia térmica, ignorando consumo elétrico de equipamentos (que pode não ser desprezável no caso de ventiladores e bombas) e iluminação.

⁶ Sendo, na prática, usados valores bastante inferiores.

do tempo, ocorrem perdas de calor da água para a envolvente (para o ar e solo por convecção e condução; para a cobertura, paredes e vãos por radiação) e, perdas de massa de água que acaba sendo conduzida para o esgoto e que evapora da superfície do plano de água para o ar da nave. Existe, portanto, a necessidade de compensar as perdas de calor e de repor a massa de água que acaba no esgoto e que é evaporada, por água fresca oriunda da rede⁷. Porque a água da rede se encontra a uma temperatura inferior à do tanque, associa-se também à reposição da água uma perda de calor.

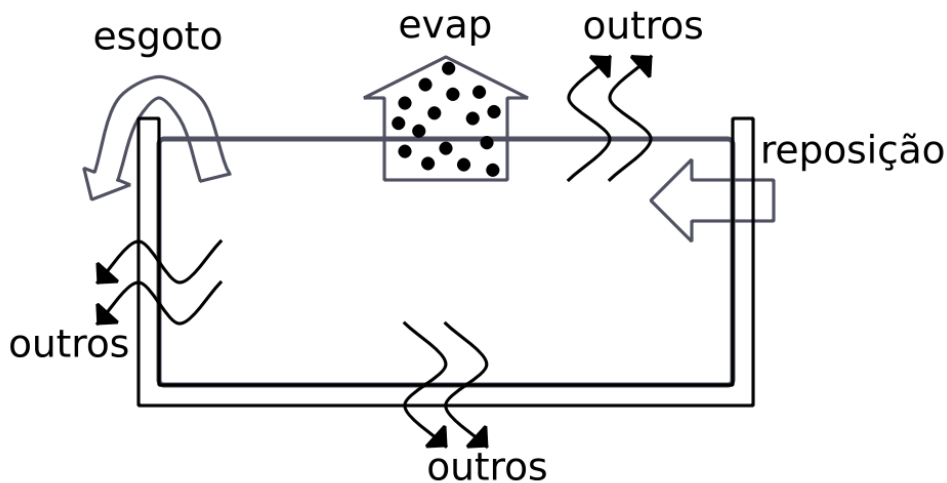


Figura 2.1 – Massa de água do tanque onde se realiza o balanço de energia. Identificação de trocas de energia e massa com a envolvente.

Tendo por base a Figura 2.1 define-se o balanço de energia na massa da água do tanque pela equação,

$$m_t c_t \frac{dT_t}{dt} = \dot{m}_{rep} c_t T_r - \dot{m}_{rep} c_t T_t - \dot{m}_{evap} L_t - \dot{Q}_{t,outros} , \quad (2-1)$$

onde,

m_t , kg, é a massa de água do tanque,

$\dot{m}_{rep}$, kg/s é o caudal mássico de água de reposição, sendo $\dot{m}_{rep} = \dot{m}_{esg} + \dot{m}_{evap}$,

$\dot{m}_{esg}$, kg/s é o caudal mássico de água que é perdida sendo encaminhada para o esgoto,

⁷ Na realidade, independentemente destas perdas, é normal impor (CNQ, 1993) um valor mínimo de reposição da água do tanque por água fresca garantindo que ao fim de algum tempo (medido em semana(s)) a totalidade do volume de água é renovado.

$\dot{m}_{\text{evap}}$, kg/s é o caudal mássico de água evaporada para o ar da nave,

T_t , °C, é a temperatura da água do tanque,

T_r , °C, é a temperatura da água da rede que abastece o tanque,

$\dot{Q}_{t,\text{outros}}$, W, são outras perdas de calor no tanque, incluindo perdas por condução através das paredes do tanque, $\dot{Q}_{t,\text{cond}}$, perdas por convecção do plano de água para o ar, $\dot{Q}_{t,\text{conv}}$, e perdas por radiação do plano de água para a envolvente interior da nave, $\dot{Q}_{t,\text{rad}}$; ou seja, $\dot{Q}_{t,\text{outros}} = \dot{Q}_{t,\text{cond}} + \dot{Q}_{t,\text{conv}} + \dot{Q}_{t,\text{rad}}$,

c_t , J/(kg K), é o calor específico da água,

L_t , J/kg, é o calor latente de vaporização da água do tanque,

t , s, é o tempo.

O membro direito de (2-1) tem sinal negativo, logo, a tendência será a temperatura da água do tanque diminuir ao longo do tempo. Para contrariar esta tendência é necessário introduzir a quantidade de energia (de controlo da temperatura da água do tanque),

$$\dot{Q}_{t,\text{ctrl}} = \dot{m}_{\text{rep}} c_t (T_t - T_r) + \dot{m}_{\text{evap}} L_t + \dot{Q}_{t,\text{outros}} \quad (2-2)$$

A introdução desta energia é efetuada por aquecimento da água de reposição, sendo a variável de controlo a temperatura T_t .

Analisando (2-2) conclui-se que a redução das necessidades de aquecimento da água do tanque está dependente da:

- i) Redução das perdas por condução através das paredes do tanque (função do coeficiente de transmissão térmica desta)
- ii) Redução das perdas por convecção para o ar (reduzindo a velocidade do ar na superfície)
- iii) Redução das perdas por radiação para a envolvente interior da nave (seleccionando materiais com coeficiente global de transferência de calor adequados)
- iv) Redução das perdas por evaporação (colocando uma cobertura sobre o plano de água sempre que a piscina não esteja em uso)
- v) Evitar as perdas de água para o esgoto (ou seja, realizar um tratamento adequado da água para tornar possível a renovação mínima da água do tanque exigida por lei)
- vi) Fazer o pré-aquecimento da água da rede por aproveitamento de energia térmica excedentária noutros processos.

2.2. Balanço energético no ar da nave

Para além do tanque de natação, uma piscina interior é o edifício que alberga o tanque e serviços associados. Tem especial interesse sob o ponto de vista térmico o estudo da nave onde se localiza o tanque que, por possuir exigências termo-higrométricas próprias, forma uma zona térmica independente, separada do restante edifício.

A Figura 2.2 representa em esboço uma nave de um tanque de natação e as trocas de energia que se observam entre o ar e a envolvente.

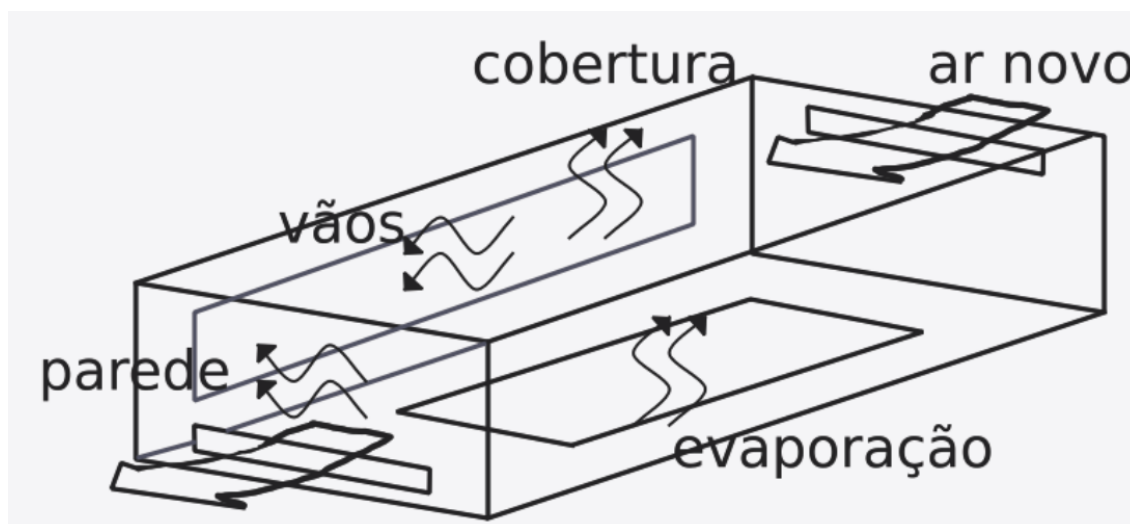


Figura 2.2 –A massa de ar da nave do tanque onde se realiza o balanço de energia com representação das trocas de calor com a envolvente.

Na Figura 2.2 observam-se trocas de calor através de paredes onde se distinguem os elementos opacos e o vãos envidraçados (muito usados em naves de piscinas), cobertura e pavimento (cais). Estas trocas ocorrem por condução, convecção e radiação, sendo para os elementos opacos estes efeitos combinados num coeficiente global de troca de calor. Para os vãos envidraçados há que ter em consideração as trocas de radiação de pequeno comprimento de onda (radiação solar) que atravessa o envidraçado. Uma outra troca de calor com o ar que possui um peso significativo no balanço energético diz respeito à ventilação da nave com ar novo (ar exterior). A legislação (SCE) impõe valores mínimos de ventilação com ar novo para remoção de poluentes do ar. Porque o ar exterior se encontra, no inverno, a temperaturas muito baixa, torna-se indispensável o seu aquecimento⁸. Finalmente, importa referir as trocas de massa entre

⁸ Note-se que no estudo de piscinas a condição de inverno é a mais gravosa, com temperaturas do ar exterior muito inferiores àquela do ar da nave. No período de verão (encurtado pelo habitual encerramento para férias e caracterizada por uma redução do número de utilizadores), não se costuma prever o “arrefecimento mecânico” do ar da nave.

o plano de água do tanque e o ar da nave. Na Secção 2.1 referiu-se a ocorrência de evaporação da água do tanque de natação. Se bem que este fenómeno não seja acompanhado da variação de temperatura do ar, resulta no aumento da humidade específica do ar da nave e, consequentemente, do seu conteúdo energético, comumente traduzido por um aumento da entalpia do ar.

Tendo por base a Figura 2.2, define-se o balanço de energia na massa da água do tanque pela equação,

$$m_a \frac{dh_a}{dt} = \dot{m}_{AN} h_{AN} - \dot{m}_a h_a - \dot{Q}_{a,env} + \dot{m}_{evap} L_t, \quad (2-3)$$

onde,

m_a , kg, é a massa de ar da nave,

$\dot{m}_{AN}$, kg/s é o caudal mássico de ar novo introduzido na nave⁹,

$\dot{m}_a$, kg/s é o caudal mássico de ar da nave que é extraído da nave,

h_a , °C, é a entalpia do ar da nave,

h_{AN} , °C, é a entalpia do ar novo introduzido na nave,

$\dot{Q}_{a,env}$, W, é o total das perdas de calor através da envolvente da nave, incluindo perdas por condução, convecção e radiação através das paredes opacas, $\dot{Q}_{a,par}$, vãos envidraçados, $\dot{Q}_{a,vaos}$, cobertura, $\dot{Q}_{a,cob}$, plano de água, $\dot{Q}_{a,plano}$, e pavimento (cais), $\dot{Q}_{a,pav}$, da nave da tanque.

Os três primeiros termos do membro direito de (2-3) relativos à substituição de ar existente por ar novo e a trocas de calor pela envolvente resultam em perdas de calor sensível que, caso se pretenda fixar a temperatura do ar da nave (nos ~27°C), têm de ser compensadas. Por outro lado, o aumento da entalpia específica do ar devido à evaporação do plano de água resulta em humidades relativas muito elevadas, originando desconforto e contribuindo para patologias no edificado (i.e., condensações e surgimento de bolores). Para que no ar da nave se mantenham os 60% de humidade relativa torna-se necessário desumidificar o ar. A energia térmica sensível, $\dot{Q}_{a,ctrl,sens}$, e latente, $\dot{Q}_{a,ctrl,lat}$, necessárias fornecer e remover ao ar da nave são, respetivamente,

⁹ As naves de tanques de natação encontram-se usualmente em depressão (15 a 40 Pa, ASHRAE, 2019) para não contaminar com poluentes os restantes espaços; por esta razão, tem-se $\dot{m}_{AN}$ ligeiramente inferior a $\dot{m}_a$.

$$\dot{Q}_{a,ctrl,sens} = \dot{m}_a h_a - \dot{m}_{AN} h_{AN} + \dot{Q}_{a,env} \quad (2-4)$$

e

$$\dot{Q}_{a,ctrl,lat} = - \dot{m}_{evap} L_t \quad (2-5)$$

A introdução da energia térmica sensível é efetuada por aquecimento do ar novo, sendo a variável de controlo a temperatura T_a . A desumidificação do ar é conseguida com a recirculação do ar da nave, por arrefecimento “mecânico” (seguido de aquecimento), por absorção ou adsorção.

Analisando as expressões (2-4) e (2-5) conclui-se que a redução das necessidades de aquecimento e desumidificação do ar da nave estão dependentes da:

- i) Redução das perdas (condução, convecção e radiação) através de paredes, vãos, cobertura e pavimento da nave (com o benefício adicional de menores coeficientes globais de transmissão de calor elevarem as temperaturas superficiais internas destes elementos, reduzindo condensações)
- ii) Redução dos ganhos por evaporação no plano de água (por exemplo, colocando uma cobertura sobre o plano de água sempre que a piscina não esteja em uso)
- iii) Fazer o pré-aquecimento do ar novo introduzido na nave por aproveitamento de energia térmica do ar extraído da nave e/ ou de energia excedentária de outros processos.

2.3. Balanço energético às águas quentes sanitárias

A análise energética da produção de água quente usada nos balneários pode ser feita por via de um balanço de energia ao depósito (DAQ) onde se produz esta água.

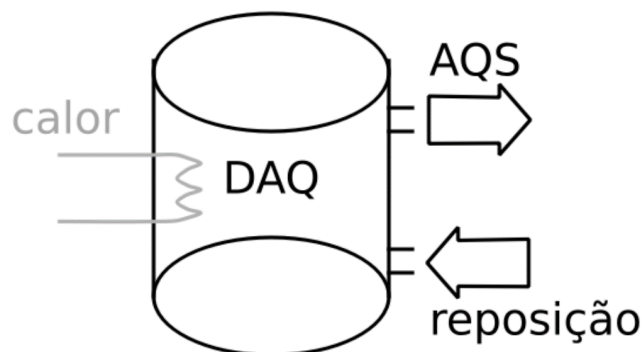


Figura 2.3 – Depósito de água quente para AQS onde se realiza o balanço de energia.

Tendo por base a Figura 2.3, que representa o depósito de onde sai água quente (AQS)

para os balneários e entra água da rede (reposição), define-se o balanço de energia na massa da água do depósito por,

$$m_{AQS} c_t \frac{dT_{AQS}}{dt} = \dot{m}_{AQS} c_t T_r - \dot{m}_{AQS} c_t T_{AQS} , \quad (2-6)$$

com,

m_{AQS} , kg, a massa de água no depósito,

$\dot{m}_{AQS}$, kg/s o caudal mássico de AQS consumida nos balneários; igual ao caudal de reposição,

T_{AQS} , °C, é a temperatura da água no depósito,

Estando a água da rede a temperatura inferior à da piscina, o membro direito de (2-6) é negativo. Para manter a água do depósito a temperatura constante é necessário fornecer calor, como representado a cinzento na Figura 2.3. A quantidade de calor a fornecer, $\dot{Q}_{AQS,ctrl}$, expressa em W, é,

$$\dot{Q}_{AQS,ctrl} = \dot{m}_{AQS} c_t (T_{AQS} - T_r) . \quad (2-7)$$

Analisando (2-6) conclui-se que a redução das necessidades de aquecimento para AQS está dependente da:

- i) Redução do consumo de AQS (e.g., sensibilizando utentes para a importância de evitar duchas prolongados; usando redutores de caudal)
- ii) Fazer o pré-aquecimento da água da rede por aproveitamento de energia térmica excedentária noutros processos ou por aproveitamento da energia da água quente que vai para o esgoto.

Capítulo 3 : Soluções de engenharia

Considerações prévias, produção de calor e desumidificação

Como se mostrou no capítulo anterior, a manutenção da atividade numa piscina interior requer aquecimento e desumidificação. Na próxima secção começa por se refletir sobre técnicas

passivas que permitem reduzir essas necessidades.

3.1. Considerações prévias

No capítulo anterior concluiu-se a importância de evitar perdas de calor pela envolvente da nave do tanque; a importância de cobrir o plano de água reduzindo a evaporação, etc. Estas medidas não servem apenas para reduzir as necessidades de aquecimento e desumidificação, contribuem para a preservação dos elementos construtivos e para a saúde dos utilizadores. Com efeito, face às temperaturas do ar interior compreendidas entre ~27 e 29°C e às humidades relativas entre 50 e 60%, para evitar condensações na envolvente os projetistas devem assegurar que as superfícies possuem temperatura superior ao ponto de orvalho, compreendido entre ~16 e 20°C. Ou seja, deve usar-se isolamento térmico da envolvente para que as superfícies interiores dos elementos construtivos permaneçam acima dessa gama de temperaturas. No verão, não se colocam problemas de condensação e, mesmo que a pressão de vapor no exterior seja inferior à interior, a migração de vapor pelos elementos construtivos não causa condensações. Naturalmente, o mesmo não ocorre no inverno; período onde, para além dos elementos construtivos poderem estar a temperaturas inferiores ao ponto de orvalho, a pressão de vapor no interior é muito superior àquela do ambiente exterior. Haverá, portanto, e sempre, uma tendência para o vapor de água migrar através dos elementos construtivos para o exterior. No plano onde a temperatura neste elemento é inferior ao ponto de orvalho o vapor condensa, dando origem a patologias construtivas que podem ser mais ou menos graves. Para evitar esta migração de vapor usa-se barreiras de vapor, devendo ser colocadas pelo interior, onde a pressão de vapor é superior.

Importa referir que o projeto do tratamento do ar interior (da ventilação) de piscinas interiores não pode ser dissociado do projeto de arquitetura (volumetrias e modo de utilização), das soluções construtivas adotadas para a envolvente e do tratamento (físico e químico) da água da piscina. Como referido em ASHRAE (2019), por vezes pensa-se que o sistema AVAC quando corretamente projetado será sempre capaz, por si só, de limpar o ar quando surgem problemas de odor por cloroamina (resultado da combinação de cloro com material orgânico) e de evitar surgimento de bolores e fungos devidos a condensações. A realidade é bem diferente; se não se atuar ao nível da produção e libertação de gases da água da piscina; se não se tratar higrotermicamente a envolvente da piscina, não será o sistema AVAC a solução.

O caudal de ventilação em piscinas interiores é especificado no RECS (2015) tendo em considerações requisitos de qualidade do ar interior (mínimo de 20 m³/h/m² de área de plano de água, *devendo atender-se ainda à eficácia de ventilação*). Importa ser introduzido onde é necessário, note-se que as piscinas possuem habitualmente um pé-direito elevado, ocorrendo fenómenos de estratificação, ou seja, junto ao plano de água e na zona dos espectadores.

Tão importantes quanto os cuidados com o ar novo são os cuidados com a extração do ar. Por um lado, devido a requisitos de conforto e de qualidade do ar que determinam encontrar-se

a nave do tanque em depressão anteriormente referido, para evitar propagação de odores; por outro lado, por razões de poupança energética, visto o ar extraído possuir elevada conteúdo entálpico, tornando-se imperativo recuperar a energia que transporta.

A localização e seleção de difusores de insuflação e de grelhas de extração determina, ainda, a forma como ocorre o escoamento no interior da nave. A disposição destes elementos deve ser de modo a evitar volumes no interior da nave não-ventilados com elevada concentração de poluentes; aspeto essencial, especialmente, na proximidade de tanques usados por crianças.

Valores usuais de renovação do ar na zona próxima do plano de água de 4 a 6 renov/h (não excedendo velocidades de 0,15 m/s no plano) e, nas bancadas de espectadores, 6 a 8 renov./h (ASHRAE, 2019). Quanto à localização dos difusores, segundo a ASHRAE (2019), para além da insuflação na zona do tanque (e bancadas), deve-se insuflar ar contra as superfícies onde é habitual ocorrer condensações; habitualmente os vãos envidraçados, que possuem maiores coeficientes globais de troca de calor e que por isso registam temperaturas das superfícies interiores mais baixas. Para evitar curto-circuitos (entre insuflação e extração) e contrariar estratificação, a ASHRAE (2019) sugere-se a extração de ar alternadamente junto ao teto e a cotas mais baixas.

Finalmente e ainda a propósito da insuflação e extração de ar na nave do tanque, importa garantir que os materiais usados nas grelhas e condutas de ar são resistentes ao ambiente quimicamente agressivo da piscina e estão devidamente isolados.

3.2. Sistema de produção de calor com caldeira

A forma convencional de produção de calor consiste no uso de uma caldeira, tipicamente, a gás natural. A caldeira faz parte de um circuito primário que aquece um fluido térmico água, perto dos 100°C, transferindo-se o calor deste circuito (via permutadores de calor) para os consumidores. Para evitar o encerramento da piscina em caso de avaria da caldeira opta-se por soluções redundantes instalando (em paralelo) uma caldeira de substituição.

Em piscinas interiores contabilizam-se vários consumidores de calor: a água do tanque de natação; o aquecimento do ar da nave; a produção de AQS. Costumam existir, igualmente, vários produtores. Para além da caldeira principal é comum prever uma caldeira de substituição e, hoje em dia, painéis solares térmicos.

A Figura 3.1 apresenta um exemplo de um sistema hidráulico (entre muitos possíveis) que acomoda a existência de vários produtores (P1 a Pn) e consumidores (C1 a Cn) de energia térmica (Petitjean, 1994, p.101).

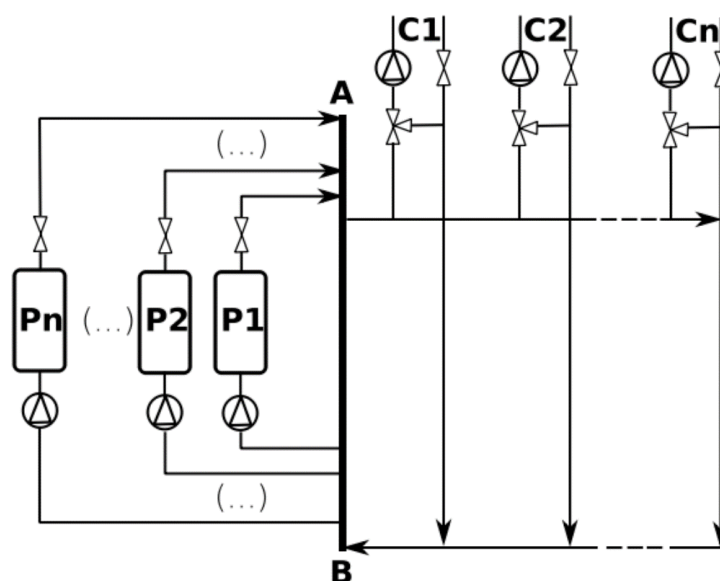


Figura 3.1 – Circuito hidráulico interligando vários (até n) produtores P e vários (até n) consumidores C.

Na Figura 3.1 existe um elemento de bypass AB interligando a produção e o consumo de energia (i.e., água quente)¹⁰. Admitindo que apenas se observava produção em P1 e consumo em C1 e que os caudais circulados são, $\dot{Q}_{P1} = \dot{Q}_{C1}$, o caudal no bypass seria $\dot{Q}_{AB} = 0$. Caso o caudal C1 diminua, mantendo-se aquele de P1, o escoamento no bypass adquire o sentido de A para B (neste caso, eleva-se a temperatura da água à entrada da caldeira podendo-se reduzir o caudal em P1). Quando o consumo em C2, C3,..., Cn for diferente de zero e, $\dot{Q}_{C1} + \sum_{k=2}^n \dot{Q}_{Ck} > \dot{Q}_{P1}$, verificar-se-á um escoamento no bypass de B para A e, uma consequente diminuição da temperatura em A (resultado da mistura dos caudais vindos de P1 e de B para A). Um sensor de temperatura no bypass pode ser usado para controlar o funcionamento em paralelo dos geradores de calor P1, P2,..., Pn suprimindo as necessidades de calor da instalação.

Note-se que a perda de carga em AB é reduzida e que na produção de calor se entrega água quente junto à aspiração dos consumidores, descarregando estes a água de retorno, mais fria, junto à aspiração daqueles.

3.3. Aproveitamento de energia solar térmica

Havendo a possibilidade de produzir energia térmica com painéis solares esta deve ser aproveitada pois permite reduzir o consumo de gás nas caldeira e, consequentemente, reduzir

¹⁰ Na prática, o bypass AB pode assumir diversas formas, por exemplo, um depósito ou um conjunto distribuidor-coletor.

os custos de exploração.

Em piscinas interiores é corrente usar coletores solares planos interligados na modalidade de retorno invertido (ou solução equivalente que assegure equilíbrio dos caudais na instalação).

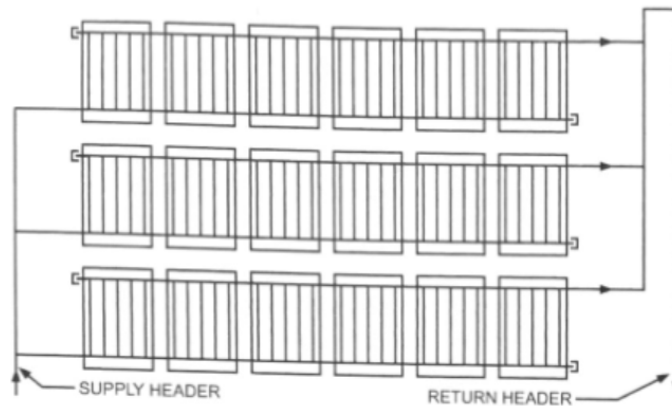


Figura 3.2 – Associação de coletores solares com retorno invertido (ASHRAE, 2016c).

A água que circula nos coletores constitui um circuito fechado, sendo o calor aí obtido armazenado num depósito (de energia) “solar”. Existem muitas configurações possíveis para este armazenamento. A Figura 3.3, de FSEC (2006), apresenta um exemplo que inclui um depósito de “drain back” no circuito primário dos painéis interligando-se este com o depósito solar de serviço. Naturalmente, prevenindo casos em que a produção solar é insuficiente, o depósito de serviço estará interligado com um gerador de calor de reserva (caldeira, apesar de na figura se representar uma resistência elétrica). Reforça-se, contudo, que estes geradores servem apenas como reserva, dando o sistema primazia à produção de energia solar.

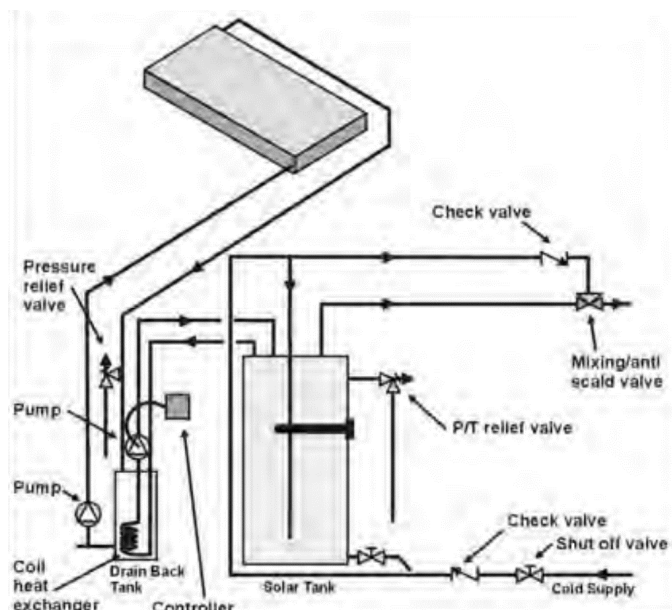


Figura 3.3 – Acumulação de energia “solar” com depósito de “drain back” (FSEC, 2006, p.2.23).

3.4. Desumidificação

A desumidificação do ar pode ser conseguida através de arrefecimento seguida de aquecimento com recurso a um ciclo frigorífico, processo que designaremos como desumidificação "mecânica"; por processos de absorção ou adsorção. Em aplicações a piscinas a solução convencional é, sem dúvida, a primeira; e, porque a desumidificação não é o único processo termodinâmico a realizar com o ar da nave, há ainda que neutralizar as cargas térmicas do ar novo e da nave, na verdade, a desumidificação está integrada numa unidade de tratamento de ar onde se implementam, adicionalmente, processos de filtragem do ar, mistura entre ar novo e recirculado e, aquecimento para neutralização das cargas térmicas do ar exterior e compensação das perdas de calor sensível na nave.

A evolução psicrométrica conseguida com a desumidificação "mecânica" (via ciclo frigorífico com compressão vapor) é apresentada, em esboço, na Figura 3.4.

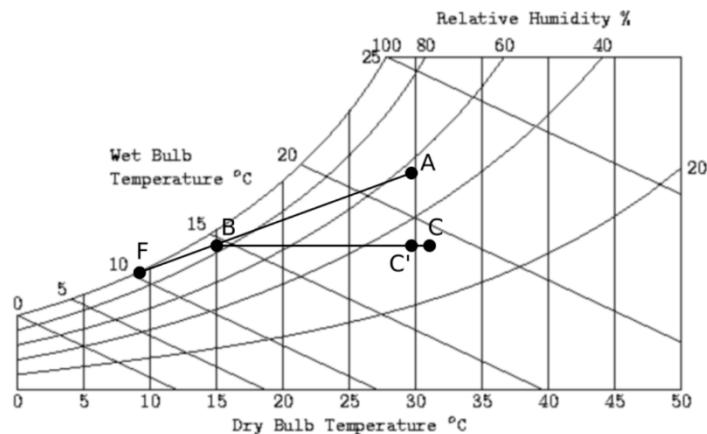


Figura 3.4 – Esboço representando uma evolução psicrométrica de desumidificação via ciclo frigorífico por compressão de vapor.

Na Figura 3.4 o segmento AB representa o arrefecimento quando o ar da nave atravessa o evaporador (F corresponde à temperatura da superfície do evaporador, representando AB/AF o fator de contacto) e o segmento BC representa o aquecimento do ar ao atravessar o condensador (com C'C representando o calor libertado pelo compressor do ciclo frigorífico).

Como referido acima, na prática, o processo de desumidificação do ar recirculado integra-se com processos de mistura com ar novo e aquecimento sensível. A Figura 3.5 apresenta um exemplo de um equipamento onde se realizam estes processos (ASHRAE, 2016a).

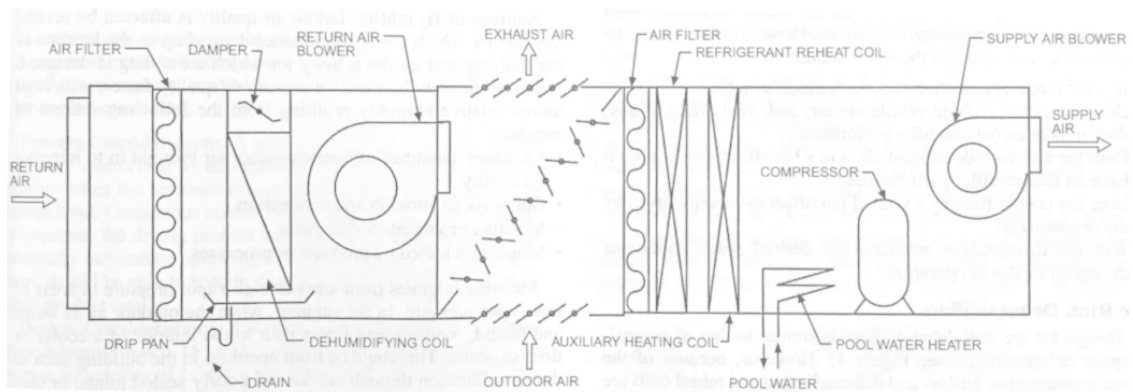


Figura 3.5 – Esquema de unidade desumidificadora com mistura entre ar recirculado e ar novo e bateria de aquecimento auxiliar (auxiliary heating coil).

De referir que as unidades desumidificadoras disponíveis no mercado estão usualmente equipadas na entrada do ar recirculado com um permutador do tipo *caloduc* (ou “*heat pipes*” na nomenclatura inglesa) envolvendo o evaporador para conseguir, deste modo, um incremento no fator de contacto da bateria, ver Figura 3.6 (ASHRAE, 2016a).

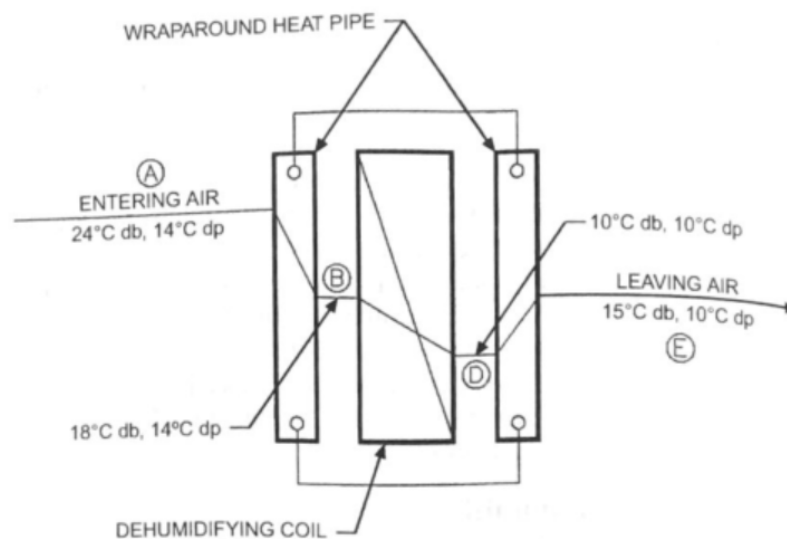


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento de permutador de calor de tipo *caloduc* envolvendo o evaporador.

Capítulo 4: Estudo de caso – Parte I

Sistemas térmicos tal como especificado no projeto de execução

A Figura 4.1 apresenta a planta do Piso 0 da piscina em análise. Nesta figura é possível identificar, na base, a nave principal que inclui o tanque de natção de 6 pistas (único existente), o cais circundante (com zona para espectadores à esquerda) e, no topo, adoçada à nave do tanque, a zona de serviços com átrio de entrada, secretaria, sala de instrutores, balneários, circulações horizontais e verticais.

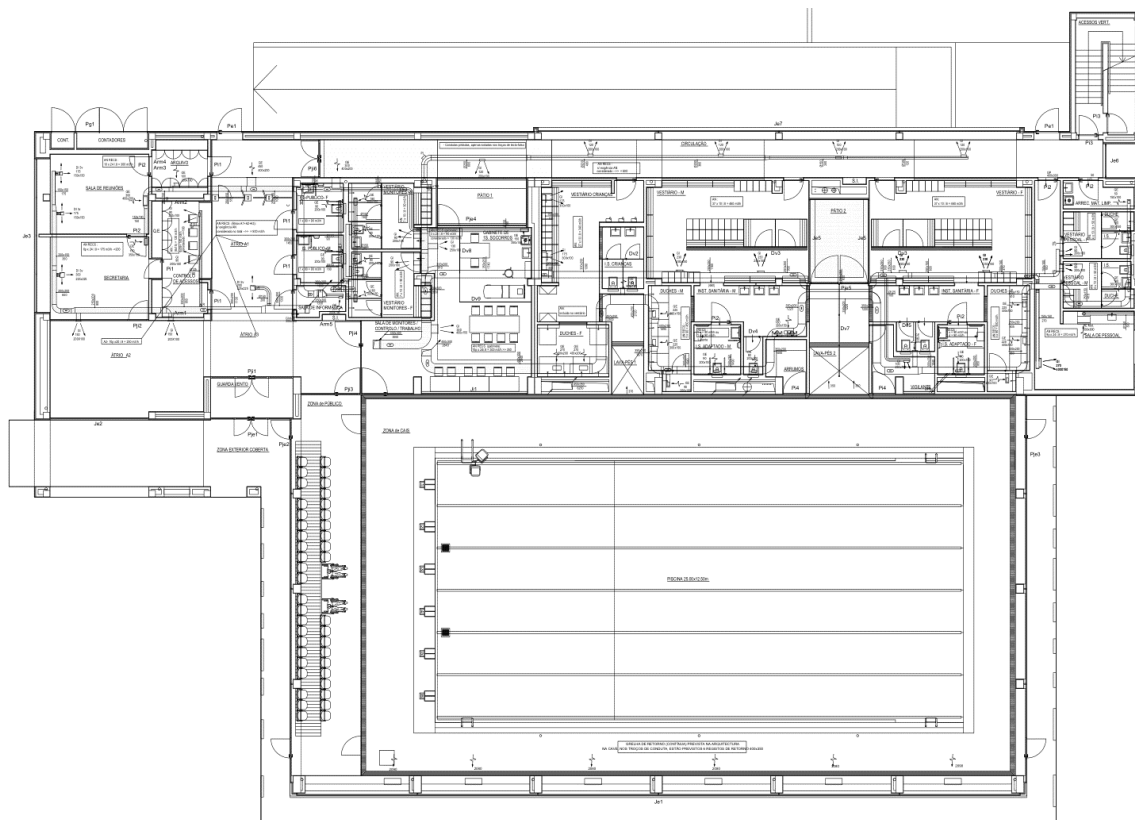


Figura 4.1 – Planta do Piso 0 do edifício da Piscina Municipal.

O edifício de um só piso útil inclui abaixo do solo um piso técnico que aloja os equipamentos de tratamento da água do tanque e inclui, ainda, a casa das (duas) caldeias, ver Figura 4.2.

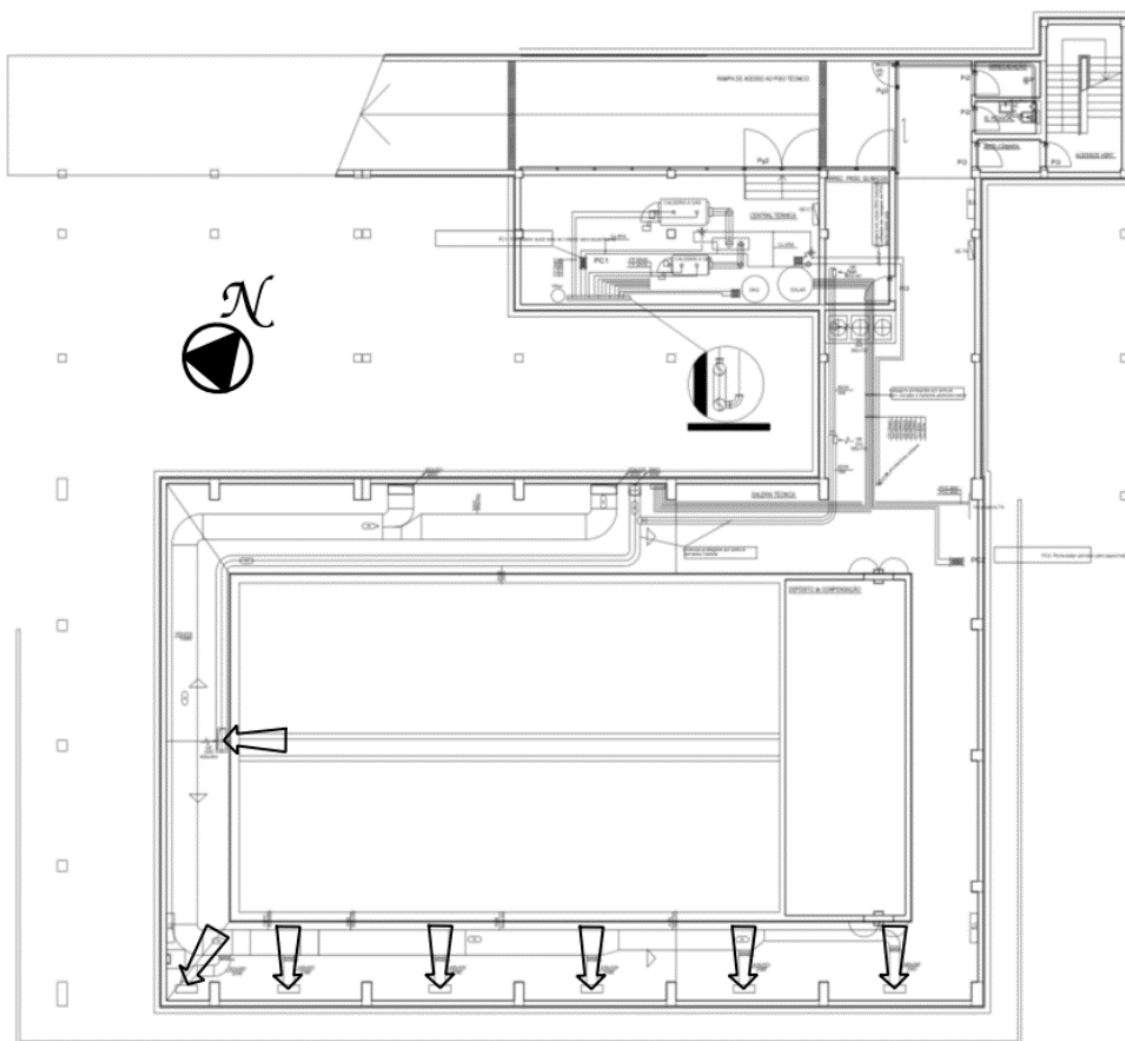


Figura 4.2 – Planta do Piso -1 do edifício da Piscina Municipal com identificação de grelhas de aspiração de ar na nave do tanque (na fachada SE pelo interior, no paramento onde assentam os vãos envidraçados).

A extração do ar da nave principal é feita através de grelhas localizadas no paramento inferior que suporta os vãos envidraçados a SE, como se mostra também na Figura 4.2, sendo este ar conduzido por condutas até à desumidificadora localizada na cobertura, sobre a zona de serviços. Com efeito, o edifício tem na zona da nave do tanque de natção um pé-direito médio de 6 m, reduzindo-se este para aproximadamente 4,20 m na zona de serviços. Na cobertura, no exterior, por cima da zona de serviços (a NO), encontram-se a unidade desumidificadora e uma unidade de tratamento de ar para a zona do átrio de entrada (que sai fora do âmbito de análise deste trabalho por tratar uma pequena área de pavimento e ser servida por uma unidade independente de expansão direta de pequena potência). O desnível entre as cotas das coberturas das zonas de serviços e da nave do tanque permite a insuflação de ar novo na nave do tanque a uma cota de aproximadamente 5,5 m, como se mostra na Figura 4.3.

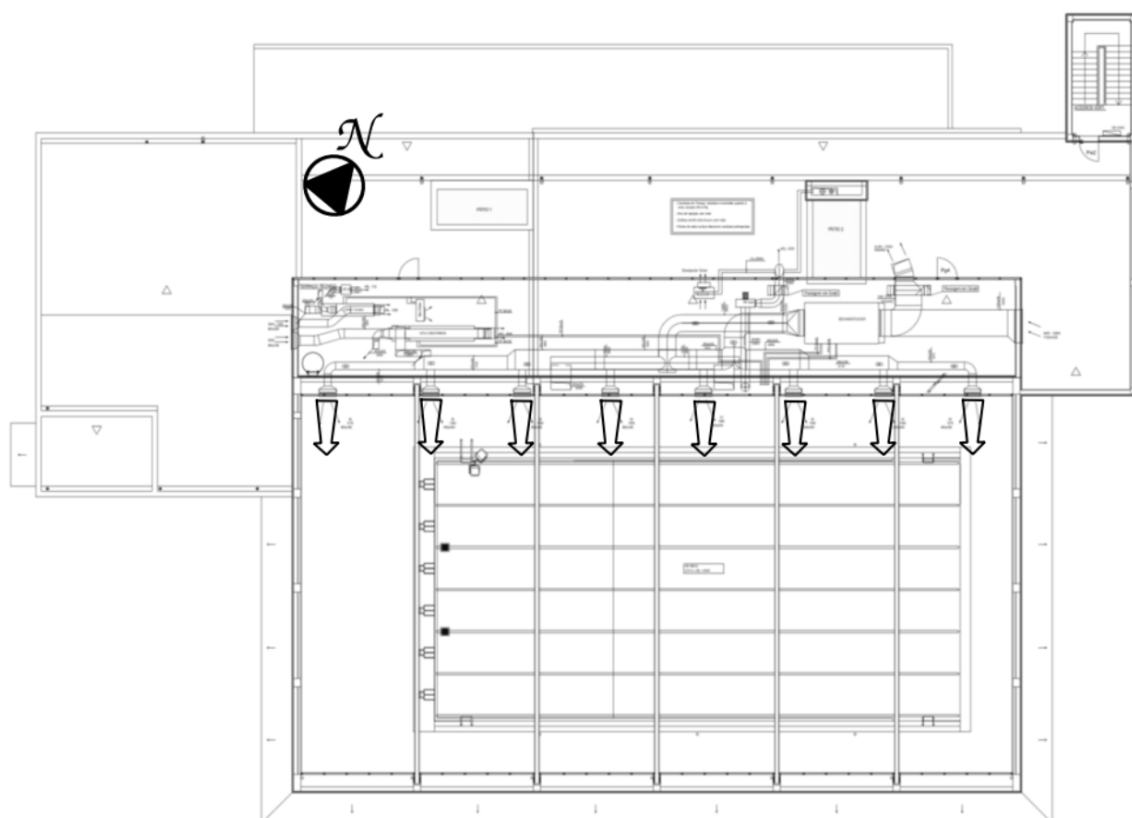


Figura 4.3 – Planta à cota da cobertura da zona de serviços com identificação (a NO) da localização dos difusores de insuflação de ar na nave do tanque (cota 5,5 m. aproximadamente).

Na cobertura, sobre a nave do tanque instalam-se os painéis solares térmicos. A Figura 4.4 apresenta a planta da cobertura com identificação dos 90 painéis solares térmicos.

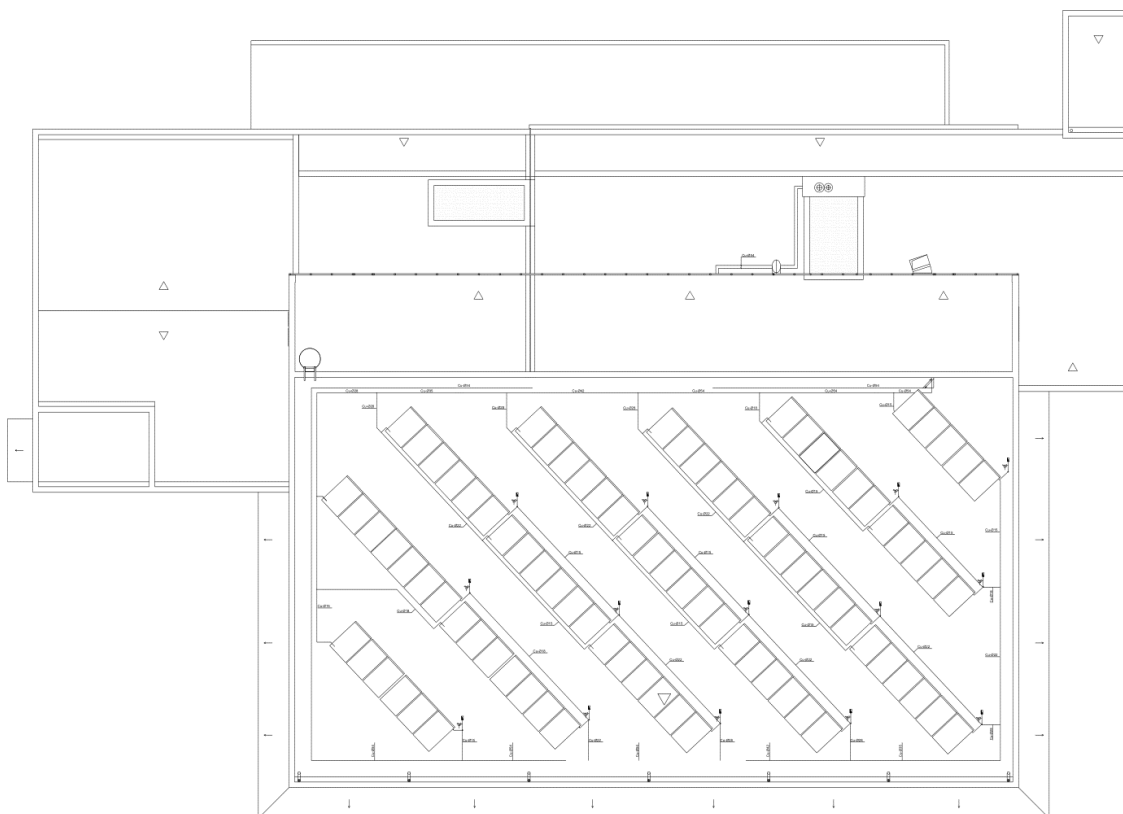


Figura 4.4 – Planta da cobertura do edifício da Piscina Municipal com identificação, sobre a nave do tanque, dos painéis solares térmicos.

4.1. A envolvente do edifício

Tendo por referência o Projeto de Execução das Instalações Mecânicas, a envolvente da nave do tanque de natção caracteriza-se sob o ponto de vista térmico do seguinte modo ver Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características térmicas da envolvente do edificado na nave do tanque (in Projeto de Execução de Instalações Mecânicas).

Elemento construtivo (Nave do Tanque)	Valor U [W/m ² /K]
Parede Alçado NW acima da zona técnica: Elemento fenólico, caixa de ar 650 mm pelo interior (não contabilizada para este efeito). Parede simples de alvenaria de tijolo de 200 mm, "capoto" de poliestireno de 40 mm pelo exterior.	0,58
Parede Alçado SE: Parede de betão 200 mm, isolamento de poliestireno 40 mm, cx de ar 30 mm, pedra fixa com grampos a elementos estruturais:	0,80
Parede Alçado NE: Parede dupla, pano de alvenaria de tijolo 110 mm e pano de betão de 200 mm, com caixa de ar de 40 mm. Isolamento exterior tipo "capoto" de 40 mm.	0,60
Parede dupla, pano de alvenaria de tijolo 110 mm e de 200 mm, com caixa de ar de 350 mm. Isolamento exterior tipo "capoto" de 40 mm.	0,53
Pavimento da Nave (sobre zona térmica interior): Lage de betão de 200 mm, isolamento poliuretano injectado de 40 mm.	0,74
Cobertura em terraço: Seixo rolado, isolamento de 60 mm de poliestireno expandido, lage de betão de 200 mm.	0,48

Vãos: Caixilharia de alumínio, vidro duplo.	3,30
--	------

A análise dos valores da Tabela 4.1 sugere os seguintes comentários:

- Valores de U de elementos opacos verticais (paredes) superiores a 0,5 W/(m² K).
- Valores de U de vãos envidraçados superiores a 3 W/(m² K), valor limite recomendado na CNQ (1993).

A confirmarem-se estas soluções construtivas obtêm-se elevadas perdas de energia através da envolvente. Com efeito, segundo o projeto de execução e, para condições de projeto de inverno, o total das perdas do ar pela envolvente da nave do tanque de natação é de 30,6 kW, com mais de metade deste valor resultado de perdas pelos envidraçados. Estas perdas, da ordem de grandeza das necessidades para aquecimento do ar novo, são, assim, e em termos relativos, elevadas e indicativas da reduzida qualidade térmica da envolvente. Ficamos inclusive na dúvida se a caracterização térmica da envolvente usada no Projeto de Execução não terá sido conservadora, porventura, por não estarem ainda especificados alguns dos elementos construtivos (designadamente, os vãos envidraçados) aquando da redação do projeto.

Acresce, a estes comentários, a completa ausência de referência a tratamento higrométrico da envolvente do edificado (e referência a barreira de vapor) ou verificação de temperaturas interiores das superfícies da envolvente em condições de projeto de inverno.

É verdade que estas considerações poderão ser mais oportunas noutra especialidade, porém, isso não invalida que o projetista de sistemas mecânicos não as tome em consideração e explicita nas suas considerações. Com base na informação facultada não podemos deixar de ficar com a sensação de que a integração entre as diferentes especialidades do projeto não foi tão efetiva quanto poderia ter sido.

4.2. Caudais e distribuição do ar na nave do tanque de natação

Para a piscina em análise, com um plano de água de 312,5 m², o caudal de ar novo foi determinado pelo projetista, de acordo com o RECS em $(312,5 \times 20) = 6250$ m³/h, estando, no entanto, prevista a possibilidade de ventilar a nave com um caudal de ar exterior de até 12500 m³/h, sempre que as condições higrotérmicas o justifiquem. Como se verá adiante, nas horas de utilização normais, o projeto prevê a mistura de ar novo e ar recirculado (desumidificado) numa proporção variável entre 6250 e 12500 m³/h.

A insuflação do ar na nave do tanque é feita no paramento superior noroeste da nave como se mostrou na Figura 4.3.

O ar da nave do tanque de natação é extraído ao nível do paramento inferior da fachada

exterior sudeste da nave, por baixo dos vãos envidraçados, como se mostrou na Figura 4.2.

Tratando-se a nave de um espaço relativamente pequeno e com um pé-direito que não é excessivamente alto, é plausível atingir os requisitos de ventilação na zona do plano de água; apesar disso depender grandemente da especificação dos difusores; algo que o projetista não refletiu no texto do Projeto de Execução. É ainda plausível que a extração junto aos envidraçados permita evitar condensações. Porém, estando corretas as especificações térmicas dos vãos envidraçados, ver Secção 4.1, com um valor-U elevadíssimo, julgar-se-ia prudente insuflar junto dos envidraçados e extrair o ar na região que separa a nave dos serviços de apoio, ou seja, inverter a solução adotada. Seguramente outras razões para além das térmicas estiveram na mente e orientaram o projetista na sua decisão final.

Refira-se, para terminar esta secção, que não é feita qualquer referência no projeto ao uso de cobertura do plano de água quando a piscina não se encontra em uso.

4.3. Sistema de produção de calor e aproveitamento de fontes de energia renovável

O dimensionamento das caldeiras a gás (natural) para produção de calor teve por base os valores de necessidades na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Necessidades térmicas consideradas no Projeto de Execução.

Necessidade	Observação
Tanque de natação: - arranque (sensível): ~140 kW - arranque (latente): ~50 kW - arranque total: ~190 kW	Considera-se um tempo de enchimento no arranque de 60h.
Tanque de natação - manutenção (sensível): ~40 kW - manutenção (latente): ~110 kW - manutenção total: ~150 kW	Considera-se um caudal de reposição com água fresca (para compensar perdas para esgoto, etc.) da ordem de 2 m ³ /h. Admite-se a temperatura da água da rede a 12°C.
Produção de AQS: ~80 kW	Considerando depósito de 1500 l, água armazenada a 60°C e consumida a 38°C e tempo de reposição de 1 h.
Aquecimento da nave do tanque de natação: - perdas por paredes opacas: ~3 kW - perdas por vãos envidraçados: ~18 kW - perdas pela cobertura: ~10kW - neutralização das cargas térmicas do ar novo e compensação das perdas na nave: ~30 kW - Total: ~60 kW	No cálculo das necessidades de energia para o ar novo admitiu-se pré-aquecimento de 6250 m ³ /h de ar novo a ~27°C e insuflação a ~32°C.

Somando os totais das necessidades de calor para a água do tanque (em modo de manutenção), para produção de AQS e para tratamento do ar do tanque resulta (150+80+60=)~300 kW de necessidades de produção de calor.

Os valores usados no projeto (e apresentados na tabela) parecem-nos conservadores, precavendo a incorreta condução dos sistemas térmicos. Com efeito, com uma correta gestão dos recursos (com o desfasamento no tempo dos consumos, com o uso de uma cobertura do

plano de água) poderia reduzir-se a potência para aquecimento da água de reposição do tanque (“manutenção sensível”), concentrando o aquecimento sensível no período noturno, quando existem menores necessidades de “manutenção latentes” (de evaporação). Adicionalmente, como foi aliás referido anteriormente, no que diz respeito às perdas de calor pela envolvente; em especial pelos envidraçados, melhores características térmicas da envolvente permitiriam, não só prevenir patologias construtivas, como ainda reduzir a potência de aquecimento no ar numa dezena, dezena e meia de quilowatts.

Para suprir as necessidades o projetista seleciona uma caldeira a gás de 300 kW. Por redundância (e mais bem adaptada para condições de verão), prevê a instalação em paralelo de uma segunda caldeira de apenas 150 kW.

No que diz respeito à produção de calor por fontes de energia renovável, o projetista prevê um sistema de aproveitamento solar térmico com 90 coletores solares planos totalizando uma área de aproximadamente¹¹ 200 m². Como se conclui da Figura 4.4, prevê-se o retorno invertido do fluido térmico que circula pelos coletores.

O princípio que rege o projeto de sistemas térmicos atribui a prioridade da produção solar para suprimento de AQS; contudo, em períodos de ausência de consumo de AQS, o projetista permite o “desvio” da energia solar para apoio ao aquecimento da água do tanque de natação, e/ou desumidificadora.

Com base no programa Solterm e, nos valores mensais de energia solar produzida na localização da piscina municipal, o projetista previu os seguintes valores mensais de suprimento de energia térmica, face aos requisitos de produção de AQS---ver Figura 4.5.

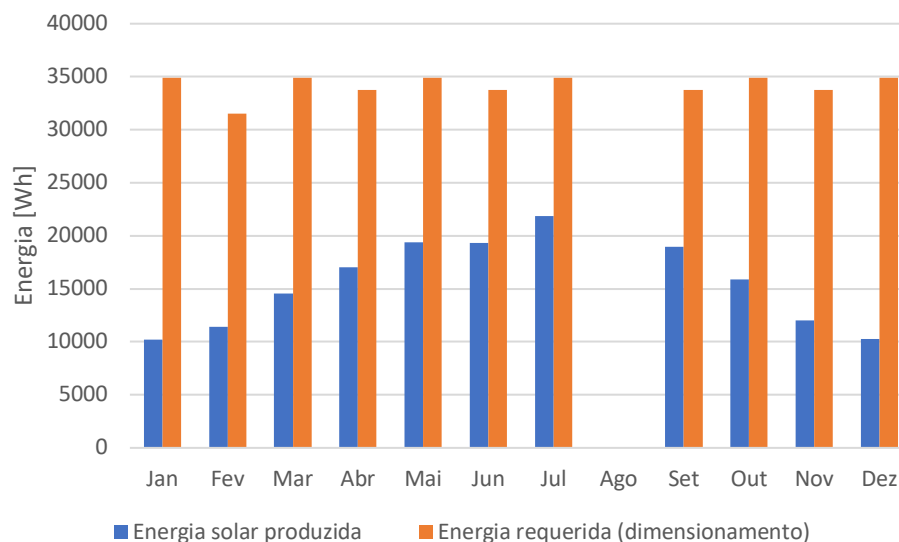


Figura 4.5 – Energia solar mensal média produzida face a requerida (baseado no *Solterm*).

¹¹ Com base na simulação com o programa Solterm.

A Figura 4.5 permite concluir que, de acordo com o projeto, a produção de energia térmica para AQS supre entre aproximadamente 1/3 e 2/3 das necessidades previstas de AQS (no inverno e verão, respetivamente). Estes resultados (médias mensais) não devem ser confundidos com potências de projeto.

4.4. Desumidificação e tratamento do ar da nave do tanque de natação

Para desumidificação e tratamento do ar da nave do tanque de natação dimensiona-se uma unidade dita desumidificadora, de fluxo duplo, com *caloduc*,

A Tabela 4.3 apresenta algumas das principais características desta unidade.

Tabela 4.3 – Características principais da unidade desumidificadora.

Característica
Caudal de ar total: 12500 m ³ /h
Caudal de ar novo mínimo: 6250 m ³ /h
Potência de ventilação insuflação: 5,5 kW
Potência de ventilação de extração: 3,0 kW
Pressão estática disponível insuflação: 300 Pa
Pressão estática disponível extração: 300 Pa
Capacidade de desumidificação "mecânica": 35,2 kg/h
Capacidade de desumidificação total ("mecânica" + ar-novo) verão: 72,7 kg/h
Capacidade de desumidificação total ("mecânica" + ar-novo) inverno: 119,2 kg/h
Potência máxima de aquecimento: 92 kW

Esta unidade integra uma unidade de refrigeração mecânica (ciclo de compressão de vapor) como referido na secção 3.4, possuindo uma bateria de aquecimento auxiliar abastecida por água quente produzida via caldeira e/ou painéis solares (mais detalhes são apresentados na secção seguinte).

4.5. Rede hidráulica de distribuição de calor

Como se depreende do exposto nas secções anteriores, apesar do contributo dos painéis solares térmicos, a piscina municipal depende, em grande medida, da produção de calor por queima de gás natural. A rede servida pelas duas caldeiras (principal e secundária) constitui, portanto, o cerne da instalação hidráulica.

O esquema hidráulico adotado no projeto é idêntico ao apresentado na Figura 3.1 com três produtores de calor caldeira principal, P1; caldeira secundária, P2; painéis solares térmicos, P3--e três consumidores, tanque de natação, C1; bateria de aquecimento auxiliar de unidade

desumidificadora, C2; bateria aquecimento auxiliar de depósito de AQS¹², C3.

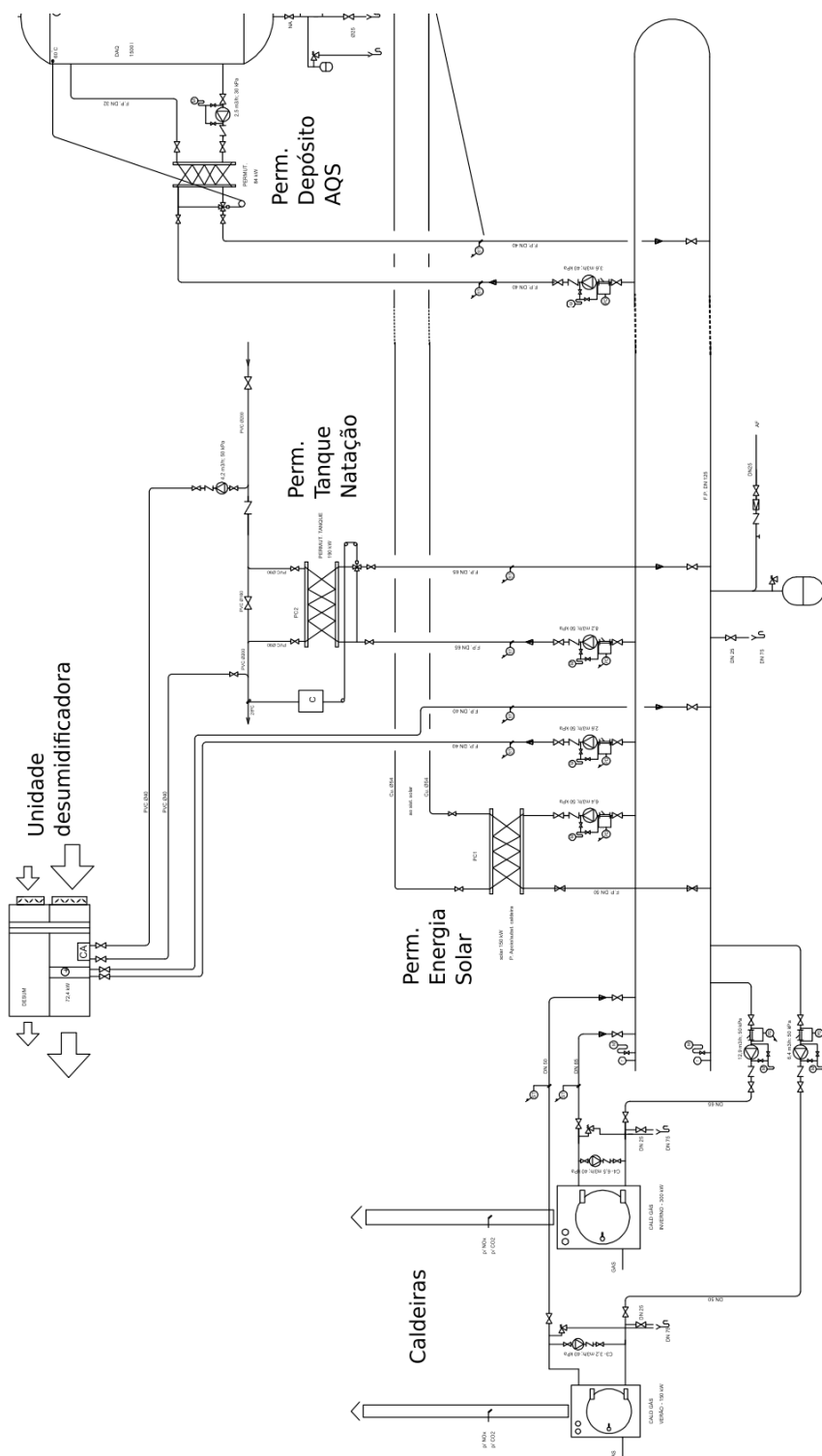


Figura 4.6 – Pormenor de distribuidor-coletor onde se recebe energia térmica dos produtores e se distribui energia térmica pelos consumidores.

¹² Na verdade, existe ainda uma bateria de aquecimento de uma unidade de tratamento de ar de ventilação do átrio de entrada, como se referiu de passagem no início deste capítulo.

A implementação do bypass AB representado na Figura 3.1 corresponde a um conjunto distribuidor-coletor como representado na Figura 4.6.

Como se referiu anteriormente, a utilização da “produção solar” dirige-se, predominantemente, para AQS. O projeto prevê a associação em série de um “depósito solar”, com 3000 litros de capacidade, e do depósito AQS, de 1500 litros (este último, sendo abastecido pelo primeiro). A Figura 4.7 apresenta um pormenor do circuito hidráulico no que diz respeito à produção solar, com depósitos solar e AQS.

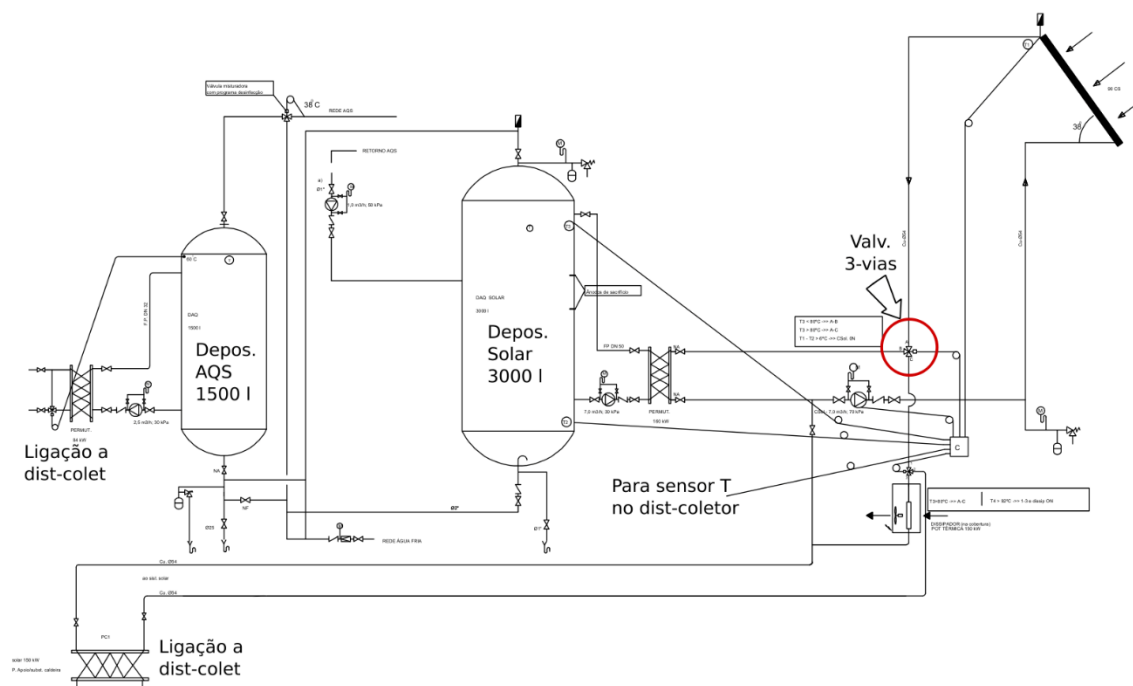


Figura 4.7 – Pormenor de circuito hidráulico para produção de água quente solar.

Conforme mencionado no Projeto de Execução, quando a temperatura no depósito solar excede um valor máximo (80°C) é aberta uma válvula (de 3 vias, identificada na Figura 4.7) que redireciona a energia solar¹³ do depósito solar para o conjunto distribuidor-coletor, reduzindo as necessidades de aquecimento da caldeira e permitindo o uso desta energia no aquecimento da água do tanque e na unidade de desumidificação.

¹³ Via um permutador de calor, não havendo mistura entre águas do circuito dos painéis solares e a água do circuito das caldeiras.

Capítulo 5: Estudo de caso – Parte II

Sistemas térmicos instalados

A descrição dos sistemas térmicos *instalados* teve por base visitas à piscina e informação facultada pelo instalador (telas finais).

O protocolo seguido durante as visitas à piscina (quatro, no total) consistiu:

- 1) Agendamento prévio por email e/ou telefone.
- 2) Definição de plano de trabalho atendendo à pesquisa prévia baseada em registos bibliográficos e à análise do projeto de execução e plantas facultadas pelo instalador. Concretamente, definiram-se antes das visitas os dados a recolher, os equipamentos a inspecionar, os ensaios a realizar e as questões a colocar aos utilizadores/ técnico de manutenção.
- 3) Durante a visita realizaram-se entrevistas e recolhera-se registos manuscritos, fotográficos e em formato digital. Por vezes, após a visita observou-se uma troca de informação via email.

5.1. A envolvente do edifício

Relativamente à envolvente, a inspeção visual dos elementos construtivos permitiu concluir (como suspeitávamos) que os vãos são de boa qualidade térmica, constituídos por caixilho de alumínio com corte térmico, vidro duplo com controlo solar. O valor de U destes vãos é, portanto, inferior aos $3,3 \text{ W/m}^2/\text{K}$ considerados no projeto, precavendo-se patologias construtivas por surgimento de condensações e reduzindo-se as perdas (e os ganhos) de calor para o (do) exterior.

A nave do tanque possui uma elevada superfície envidraçada, encontra-se corretamente sombreada e apesar de não termos podido confirmar, presume-se que as paredes opacas (aquelas na zona dos serviços) são isoladas com revestimentos do tipo “etics”.

Da inspeção visual realizada e das entrevistas com os utilizadores (instrutores) não se deduziu qualquer patologia construtiva ou problema devido à ocorrência de condensações (vencido um ano de funcionamento da piscina).

5.2. Caudais e distribuição do ar na nave do tanque de natação

A distribuição de ar na nave do tanque corresponde ao projetado. Nas quatro visitas realizadas à piscina nunca se detetou mau odor quer na nave do tanque quer nos restantes espaços do edifício.

A insuflação de ar na nave é realizada através de grelhas de insuflação designadas por GI, de dupla regulação, com registo de caudal incluído da Koolair modelo 20-DHO e a extração por grelhas de retorno designadas por GR, simples com registo de caudal incluído da Koolair modelo 20SHO.

Inquiridos especificamente sobre desconforto com correntes de ar ou acumulação de odores sobre o plano de água ou no cais, os instrutores entrevistados não apontaram qualquer queixa.

Não existe na piscina uma cobertura para o plano de água.

5.3. Sistema de produção de calor e aproveitamento de fontes de energia renovável

O sistema térmico instalado inclui as caldeiras a gás como projetado sendo neste aspeto fiel ao espírito e aos valores de projeto. Contudo, no que toca à produção de energia solar, observam-se alterações significativas face ao projeto.

Em lugar dos 90 coletores solares térmicos planos previstos (200 m²), apenas estão instalados 48, num total de 120 m². Estes coletores estão agora distribuídos pela cobertura da zona de serviços e nave do tanque, sendo o espaço sobrance (dos 42 coletores em falta) ocupado por painéis solares fotovoltaicos.

Não nos foi facultado nem verbal nem na forma de relatório qualquer justificação para esta alteração ao projeto. Por ser uma alteração tão radical, só podemos concluir que se tratou de um requisito do dono da obra (da autarquia).

A Figura 5.1 apresenta a planta da cobertura com identificação dos coletores solares planos e painéis fotovoltaicos instalados. Ao contrário do projetado a rede de distribuição do fluido térmico não possui retorno invertido. Uma inspeção visual à instalação revelou a existência de válvulas reguláveis (não representadas na Figura 5.1, uma tela final) permitindo o equilíbrio dos caudais na rede. Contudo, aquando da inspeção, todas as válvulas se encontravam abertas (abertura máxima).

Existem igualmente alterações no modo como se previne o sobreaquecimento do fluido térmico nos painéis, substituindo-se o dissipador de calor previsto no projeto por uma unidade

“drain-back”. Também o permutador de calor do depósito solar, que em projeto foi especificado como sendo exterior, foi substituído por outro no interior do depósito, com uma potência de 130kW. Mais detalhes sobre estas e outras alterações são apresentados na secção 5.5, aquando da descrição da rede hidráulica.

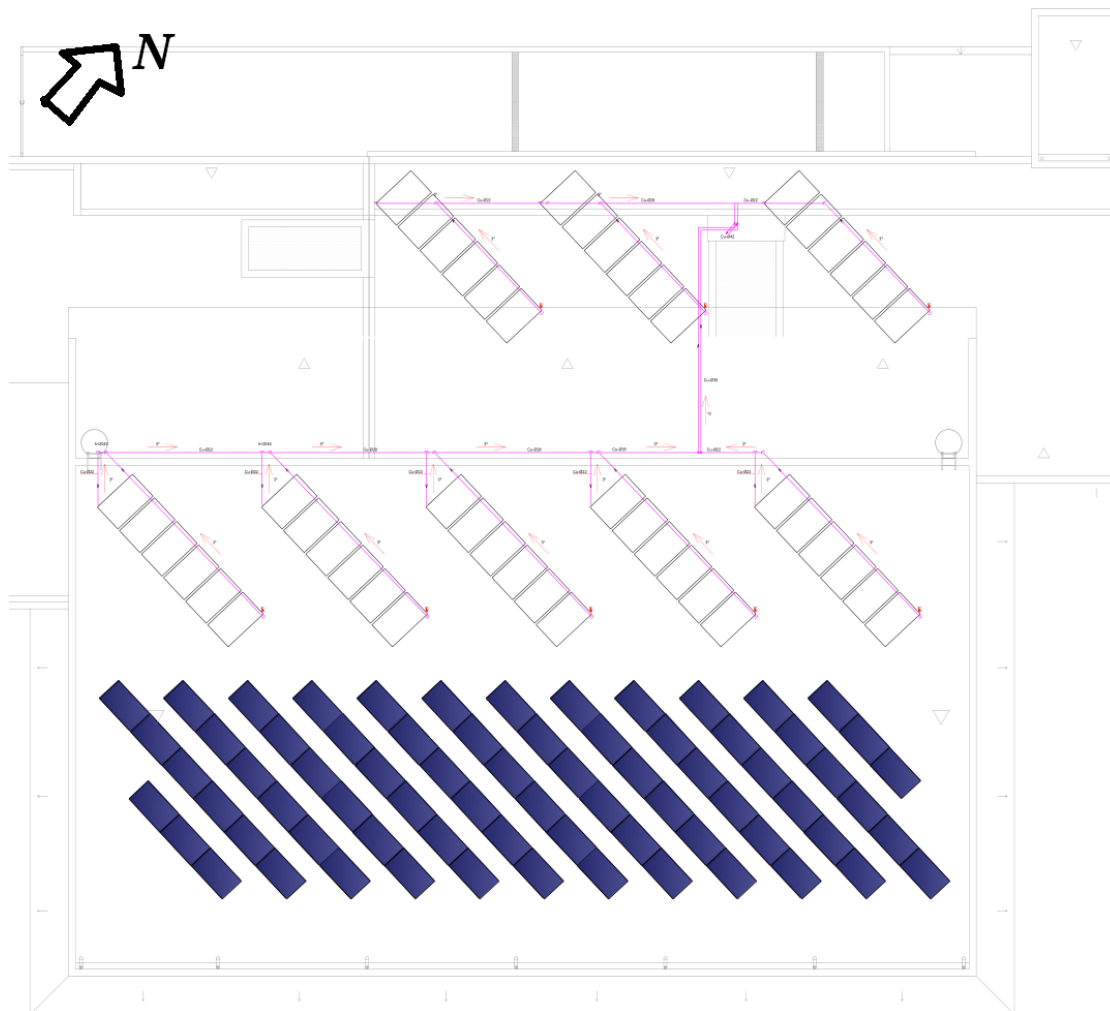


Figura 5.1 – Planta da Cobertura do edifício da Piscina Municipal com identificação dos painéis solares térmicos (a branco) e fotovoltaicos (a azul escuro) instalados.

5.4. Desumidificação e tratamento do ar da nave do tanque de natção

A unidade de desumidificação e respetivas ligações à rede hidráulica correspondem, genericamente, ao constante no projeto. Apesar de não se ter verificado in situ, presume-se (por serem estes equipamentos fornecidos “como um todo”, de fábrica) que também as potências de baterias e das várias unidades constitutivas estão conforme o projeto.

5.5. Rede hidráulica de distribuição de calor

Para a avaliação da rede hidráulica usaram-se as telas finais facultadas pelo instalador, fez-se a inspeção visual de equipamentos e sensores e fizeram-se testes simples para determinar sentidos de escoamentos.

Observam-se diferenças face ao projeto. Algumas destas justificam-se pela alteração do número de painéis solares por exemplo, a redução da potência do permutador do depósito de água solar. Outras diferenças podem justificar-se face à evolução da tecnologia (redução de custos), como foi, possivelmente, a opção do equipamento de proteção do tipo “drain-back” em lugar do dissipador de calor¹⁴.

A Figura 5.2 mostra um pormenor (com adaptações) da rede hidráulica instalada relativa à produção e armazenamento de água quente “solar” e distribuição de AQS. Nesta figura é visível o depósito de “drain-back”, os permutadores de calor interiores aos depósitos solar e de AQS, o retorno do anel de AQS (implementa-se anel fechado) com descarga no depósito de AQS em lugar da descarga prevista em projeto no depósito solar.

Comparando a Figura 4.7 com a Figura 5.2 tornam-se evidentes as simplificações adotadas na rede hidráulica (e no controlo). A opção pelo retorno do anel de AQS ao depósito de AQS é, na nossa opinião, questionável visto, na ausência de consumo, introduzir um curto-circuito à circulação de água entre o depósito solar e aquele de AQS.

¹⁴ Recorde-se que o projeto original é do final dos anos 2010, tendo sido os equipamentos instalados em 2021.

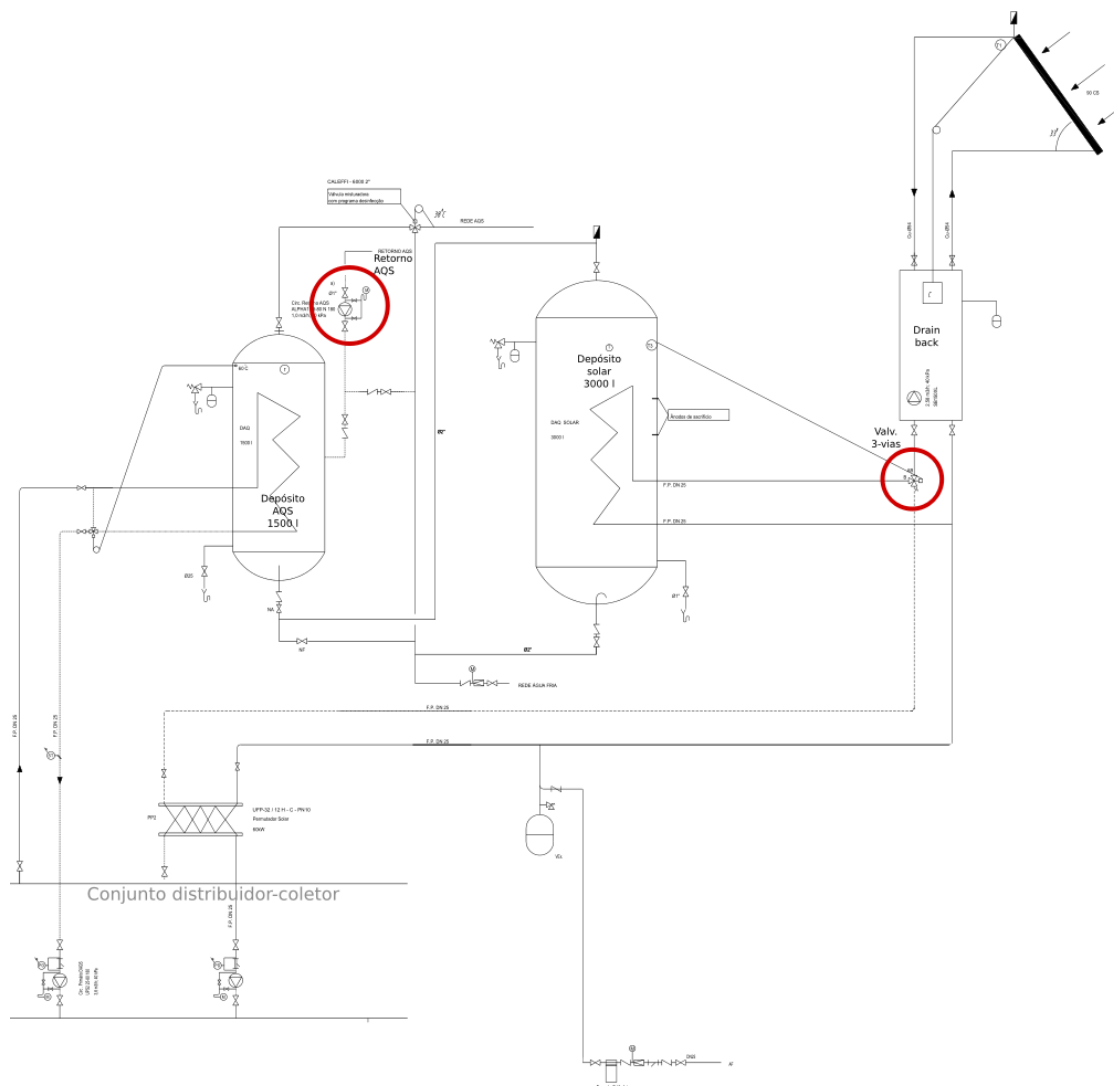


Figura 5.2 – Pormenor de rede hidráulica instalada, associada à produção de energia solar (adaptação de tela final).

Outra alteração relevante na rede hidráulica ocorre no conjunto distribuidor-coletor. A Figura 5.3 mostra um pormenor deste equipamento com ligações a anéis de produção e consumo.

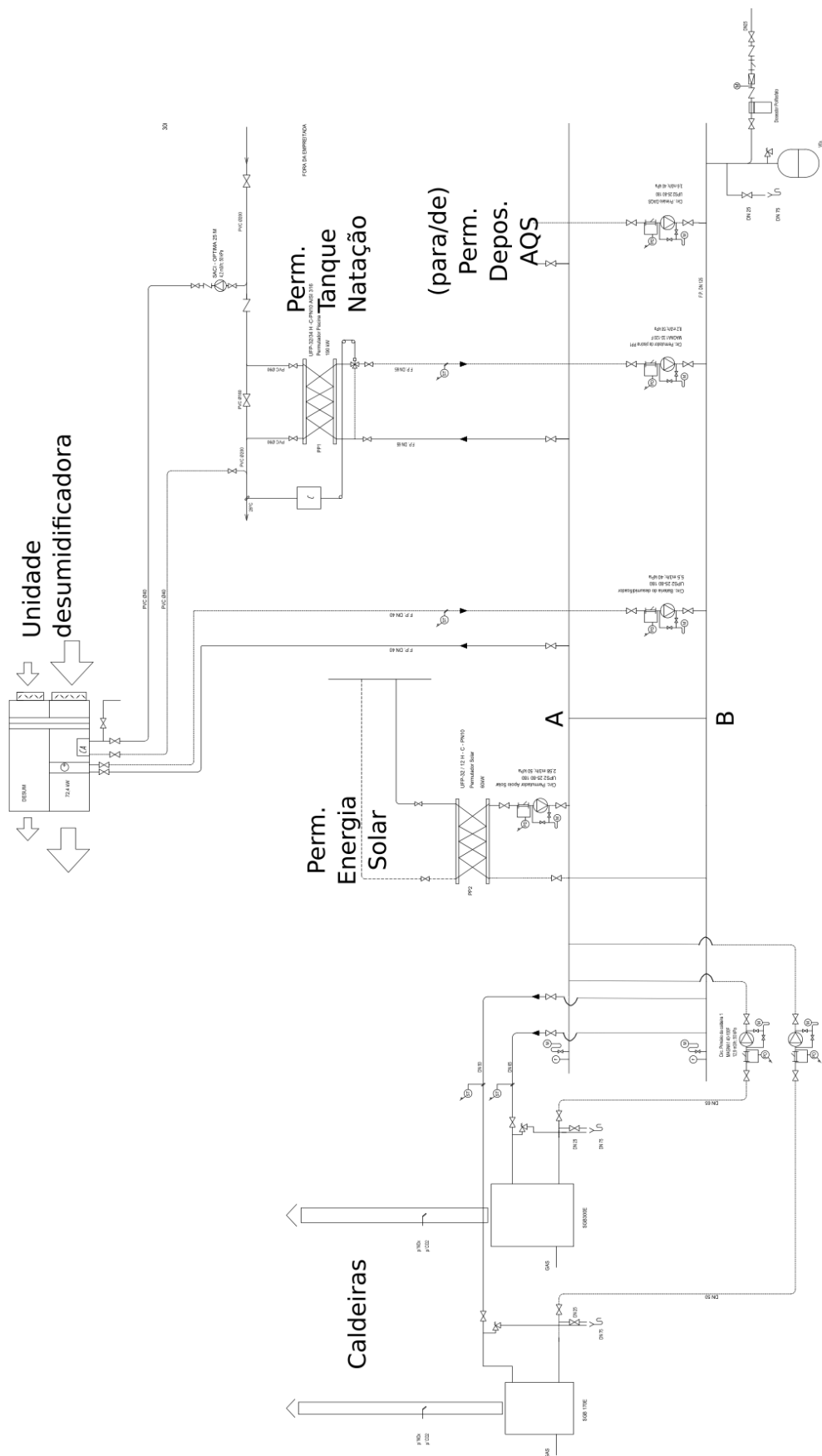


Figura 5.3 – Pormenor de rede hidráulica instalada. Conjunto distribuidor coletor (adaptação de tela final).

Da Figura 5.3 destacam-se os seguintes aspetos:

- O sentido do escoamento no permutador da energia solar, distinto do projeto, entrando no permutador o fluido mais frio vindo da descarga dos consumidores (coletor inferior) e sendo este descarregado aquecido no coletor onde descarrega, também, o caudal vindo das caldeiras (coletor superior). Ou seja, a energia solar é fornecida “em paralelo” com aquela da caldeira. Isto representa uma alteração ao conceito do projeto inicial, que tinha no permutador da energia solar um reforço “em série” (com água quente a 80°C) às caldeiras (fornecendo água a temperatura mais baixa).
- A ausência de válvulas de retenção junto aos circuladores.
- A localização do troço AB que une distribuidor e coletor, distinta daquela de projeto.

5.6. Gestão técnica centralizada e controlo de processos

Durante as visitas à piscina observaram-se valores medidos por sensores, fizeram-se testes simples para determinar ações de controlo de atuadores (forçando variações nos sinais gerados pelos sensores) e acedeu-se à(s) interface(s) gráfica(s) de Gestão Técnica Centralizada (GTC).

Na data em que redigimos este documento, por ausência de software, os interfaces gráficos de controlo estão praticamente inoperacionais, possibilitando o acesso a um número extremamente reduzido de opções de controlo. Os registos de leituras (histórico) que (se supõe) estão a ser feitos não estão acessíveis. Ou seja, apesar de instrumentada e dispondo de atuadores, as leis de controlo implementadas não são claras.

Depreendemos, das visitas realizadas, que o técnico de manutenção não tem informação suficiente para regular e operar a instalação. Não existem na instalação manuais de equipamentos, telas finais, nem procedimentos de manutenção. Os registos históricos de consumos (globais de água, por exemplo) são feitos manualmente, por consulta diária. Não existe conhecimento na instalação da fatura energética (preços do gás natural e da eletricidade cobrados mensalmente) visto estarem os pagamentos sob alçada de uma estrutura autárquica distinta e fisicamente distante.

Dos testes realizados na sala das caldeiras onde se situa, igualmente, o distribuidor-coletor interligando os vários anéis de produção e consumo pudemos constatar que a válvula de 3 vias que encaminha a energia solar ora para o aquecimento do depósito de energia solar, ora para o distribuidor-coletor em reforço às caldeiras não opera como esperado. Numa visita ocorrida a 22 de setembro, num dia quente e com céu limpo, constatou-se que o depósito de energia solar se mantinha à temperatura de 70°C sem que houvesse comando para circular no permutador de calor o fluido térmico dos painéis (ou seja, o circulador do anel primário dos painéis encontrava-se parado). Simultaneamente, as temperaturas nos coletores solares planos excediam os 100°C (em condições próximas de forçar o drain-back do fluido térmico) e a energia térmica requerida era integralmente fornecida pela caldeira de 300 kW (tendo-se assistido, inclusive, ao arranque

e funcionamento em simultâneo das duas caldeiras). Forçando o sinal de temperatura no reservatório de 3000 l a um valor acima dos 80°C, não se registou qualquer ação consequente com a lei de controlo prevista em projeto para a válvula de 3-vias.

Numa visita realizada a 8 de julho, na mesma casa das caldeiras e num dia também quente e com céu limpo, observou-se uma situação distinta: o reservatório de 3000 l com água a temperatura de 90°C; ou seja, 10°C acima do valor de ajuste de projeto da válvula de 3-vias.

5.7. Tratamento de dados de consumo total de energia

Pelo referido nas anteriores secções compreende-se existir pouco a dizer sobre o consumo de energia na piscina municipal em estudo.

A ausência de histórico de registos locais (temperatura; caudais) nos principais produtores (caldeiras, coletores solares planos¹⁵) e consumidores (tanque, desumidificadora, AQS) e, a “distância” à estrutura autárquica que centraliza a faturação da energia, justificam a exiguidade da informação que aqui se apresenta.

Na Tabela 5.1 apresentam-se consumos específicos mensais (soma de gás natural e eletricidade, em kWh, quando possível) por utência (número de utilizadores), por m² de área de plano de água e, por m² de área de plano de água multiplicado pelas horas de funcionamento mensais.

Tabela 5.1 – Consumos específicos mensais na piscina. Área de plano de água: 312,5 m²; horas de funcionamento mensais: (aprox. 14 x 22=)308 h.

Mês / Ano	kWh / utência	Consumo específico		Obs.
		kWh / m2p.a. plano água	kWh / m2p.a. / h plano água – hora func.	
Jun / 2021	14	125	0,41	
Jul / 2021	-	76	0,25	(1)
Ago / 2021	-	106	0,34	(1)
Set / 2021	62	116	0,37	
Out / 2021	43	155	0,50	
Nov / 2021	28	225	0,73	
Dez / 2021	39	234	0,76	
Jan / 2022	-	-	-	(2)
Fev / 2022	-	-	-	(2)
Mar / 2022	4	61	0,20	(3)
Abr / 2022	4	53	0,17	(3)
Mai / 2022	4	53	0,17	(3)
Jun / 2022	5	63	0,20	(3)

(1) Sem dados de utência.

(2) Sem dados de consumo de energia.

(3) Apenas dados de consumo de eletricidade.

¹⁵ Situação que, segundo percebemos, é extensível à autoprodução nos painéis fotovoltaicos, onde técnico de manutenção e direção técnica da piscina não possuem acesso à aplicação que, por certo, tem registos de tudo aquilo relacionado com os painéis fotovoltaicos.

Comparando os valores mensais de consumo específico da Tabela 5.1 com aqueles da literatura, por exemplo, com os referidos em Kampel (2013), que reúne resultados para piscinas na Europa do Norte, Central e Mediterrânica (recordar Figura 1.2), constata-se que são próximos dos valores mais baixos de consumo específico mensal (obtidos por divisão dos anuais por 12) determinados por estes investigadores, que variam entre 166 e 500 kWh/m²p.a.

Refira-se, a propósito, que os dados usados por Kampel (2013) provêm de piscinas construídas dos anos 1950 até aos anos 2000; piscinas com soluções construtivas e técnicas muito díspares. O objetivo de uma piscina como a estudada seria comparar favoravelmente com os resultados em Kampel (2013). Os valores de novembro e dezembro de 2021 da Tabela 5.1 surgem-nos, neste contexto, como elevados.

Capítulo 6 : Discussão

A discussão que se segue incide especialmente e, como é natural, sobre os conteúdos apresentados nos capítulos 4 e 5. Capítulos que apresentaram e analisaram o projeto de execução e a instalação concreta dos sistemas térmicos da piscina em estudo.

Como guia para a discussão consideram-se os objetivos do presente trabalho, declarados na secção 1.1:

- Analisar o projeto dos sistemas térmicos;
- Discutir o funcionamento dos sistemas instalados;
- Proposta de medidas que auxiliem a autarquia na gestão da energia da piscina.

6.1. O projeto dos sistemas térmicos

O projeto dos sistemas térmicos foi analisado no capítulo 4. Concluiu-se estar o projeto de acordo com o estado da arte. Levantaram-se dúvidas relativas à eficácia da distribuição de ar na nave e, sobre a fraca qualidade térmica da envolvente que penaliza a potência de aquecimento instalada. A análise in situ, que complementou a visualização com recolha de depoimentos de utilizadores (instrutores, técnico de manutenção) apontou para o correto funcionamento da estratégia de ventilação da nave (sem queixas e propagação de odores) e, para elementos da envolvente com características térmicas melhores do que as consideradas no projeto de

sistemas mecânicos a que tivemos acesso¹⁶. Deste último ponto conclui-se, por um lado, a existência de uma margem de segurança na potência de aquecimento que estimamos da ordem da dezena, dezena e meia de kW. Por outro lado e, mais importante, conclui-se que uma eventual falta de coordenação entre especialidades poderá ter forçado o projetista mecânico à tomada de decisões sem conhecer o detalhe das soluções construtivas da envolvente. Sendo este o caso, sugere-se à autarquia uma atenção reforçada na coordenação e acompanhamento do projeto.

6.2. Os sistemas térmicos instalados

No capítulo 5 descrevem-se os sistemas instalados identificando-se diferenças face ao projeto; diferenças estas que são sumariamente comentadas. As várias visitas realizadas à piscina permitiram concluir a existência de muitas alterações face ao projeto inicial. Começamos por aludir ao número de painéis solares instalados, que diminuiu em aproximadamente metade, sendo substituídos por painéis fotovoltaicos. Seguramente esta alteração tem fundamento técnico-económico, contudo, este nunca nos foi facultado (verbal ou na forma de relatório). No momento em que este documento é redigido, face à volatilidade do preço dos combustíveis fósseis, preterir o uso de energia térmica solar (“gratuita” e muito abundante em Portugal) em detrimento de gás natural prefigura um contrassenso, a menos, claro está, que tal esteja devidamente fundamentado.

Outra alteração ao projeto que pensamos necessitar de correção prende-se com o conjunto distribuidor-coletor. Este conjunto interliga anéis de produção e de consumo de água quente e, na situação presente, com a ausência de válvulas de retenção, com as diferenças nas características dos circuladores e, face ao controlo independente destes, não se assegura os sentidos de escoamento previstos em projeto. A mudança do sentido de escoamento na bomba que serve o permutador de energia solar afeta, a nosso ver, o princípio de funcionamento do “apoio” solar e implica a revisão da lei de controlo da válvula de 3-vias identificada na Figura 4.7. Com a energia solar a servir de suplemento à energia produzida na caldeira justificava-se a imposição do valor de ajuste na válvula de 3-vias de 80°C. Passando a energia solar a contribuir para o aquecimento a par (em paralelo) com uma caldeira, o valor de ajuste para a válvula de 3-vias dependerá da temperatura da água no coletor que recebe a água produzida na caldeira. O controlo da válvula de 3 vias deve, portanto, ter isto em consideração¹⁷.

Independentemente destas considerações, ficou claro com as visitas à instalação que a válvula de três vias que regula o aproveitamento da energia solar ora para aquecer o depósito

¹⁶ Características estas que deverão estar de acordo com a Memória Descritiva e Justificativa do Projeto de Arquitetura a que não tivemos acesso.

¹⁷ Por sinal, também no projeto se associava ao controlo da válvula de 3-vias solar um sinal de temperatura no coletor onde entra a água quente vinda da caldeira. Na Figura 4.7 consiste na linha diagonal truncada dirigida para SO.

de água quente, ora para aquecer a água do tanque de natação (ou desumidificadora) se encontra descomandada. Na impossibilidade de usar o sistema de gestão técnica e sem a capacidade de comandar válvulas, de recolher dados, torna-se impossível corrigir a situação e estimar a ineficiência resultante deste descomando.

Este aspeto, a inoperacionalidade do sistema de gestão técnica centralizada, a impossibilidade de recolher dados e testar soluções constitui outro importante aspeto que importa corrigir.

Refira-se que, nenhum dos “aspetos a corrigir” referidos anteriormente se reflete na qualidade do serviço prestado na piscina. Isso ficou claro nos contactos que mantivemos com os utilizadores (instrutores). Contudo, o descomando das válvulas e a incapacidade de usar o sistema de gestão técnica centralizada por falta de software, apesar de existir o hardware está seguramente na origem de gastos desnecessários de gás natural nas caldeiras, havendo energia solar disponível.

6.3. Medidas de auxílio na gestão da energia

O terceiro, último e mais importante objetivo que declaramos para este documento foi propor medidas que auxiliem a autarquia na gestão da energia da piscina. Obviamente, nos pontos anteriores identificaram-se aspetos concretos que a autarquia pode querer corrigir. Não se enquadram, no entanto, no âmbito lato da gestão da energia. Consistem em aspetos técnico-económicos; importantes, claro, mas pontuais.

Com base nas entrevistas realizadas aquando das visitas, depois da análise pormenorizada dos sistemas térmicos e redes hidráulicas, não são os aspetos técnicos que aqui iremos destacar. Somos de opinião que mais importante do que resolver aspetos técnicos a autarquia deve intervir reparando e melhorando os seus procedimentos de acompanhamento e fiscalização em obra. Intervir, melhorando a comunicação entre os vários atores no processo de projeto, instalação e manutenção. Em suma, destacamos nesta secção a importância da autarquia refletir ao “nível organizacional”.

Todas as questões que são levantadas neste documento derivam, essencialmente, da piscina apesar de inaugurada e em funcionamento não ter sido (segundo informações recolhidas) formalmente finalizada¹⁸. Isto significa que não se realizaram (ainda) os ensaios de entrega programados, sem os quais não se tem a instalação a operar em condições nominais. Cumulativamente, reforça-se a importância de existir uma coordenação efetiva entre as várias estruturas autárquicas. Designadamente, as financeiras, que aprovam as despesas, pagam as faturas de energia e, as técnicas, que fiscalizam as obras, implementam a manutenção, etc. Na ausência de comunicação e de dados concretos para a tomada de decisão, compromete-se a

¹⁸ Dito de outra forma, a obra não foi entregue.

otimização de sistemas incorrendo-se no desbaratar de recursos públicos sempre escassos, quer sejam ou não financeiros que, ironicamente, visavam o fim nobre de reduzir consumos pelo aumento da eficiência energética.

O presente documento e o estudo de caso em que se apoia resultou de um desafio lançado por uma agência de energia da região metropolitana de Lisboa. O desafio consistia na realização de uma avaliação energética. Com a conclusão dos trabalhos e após a redação do presente documento somos forçados a confessar não ser o este o resultado inicialmente imaginado. Inicialmente imaginava-se a aquisição e tratamento de dados que permitissem a avaliação quantitativa do desempenho dos principais equipamentos térmicos e o estudo de diferentes cenários de operação. O esbarrar com a impossibilidade de aquisição de dados apesar de estar instalado um sistema de gestão técnica centralizada capaz e novo, foi, sem dúvida, um choque. Fica, assim, o sentimento ambivalente de, por um lado, nos regozijarmos por contribuir para uma melhor compreensão dos sistemas térmicos da piscina em estudo (e, porventura, de grande parte das piscinas interiores municipais nacionais, visto os sistemas térmicos não sofrerem grande variação); mas, por outro lado, a tristeza de, na presença de uma instalação nova com equipamento de aquisição de dados e controlo atual, não nos terem sido facultados dados que permitissem a análise quantitativa ambicionada.

6.4. Conclusão

O presente documento e o estudo de caso em que se apoia resultou de um desafio lançado por uma agência de energia da região metropolitana de Lisboa. O desafio consistia na realização de uma avaliação energética. Com a conclusão dos trabalhos e após a redação do presente documento somos forçados a confessar não ser o este o resultado inicialmente imaginado. Inicialmente imaginava-se a aquisição e tratamento de dados que permitissem a avaliação quantitativa do desempenho dos principais equipamentos térmicos e a realização de testes com diferentes cenários de operação, identificando-se potenciais de poupança. O esbarrar com a impossibilidade de aquisição de dados apesar de estar instalado um sistema de gestão técnica centralizada capaz e novo, foi, sem dúvida, um choque. Fica, assim, o sentimento ambivalente de, por um lado, nos regozijarmos por contribuir para uma melhor compreensão dos sistemas térmicos da piscina em estudo (e, porventura, de grande parte das piscinas interiores municipais nacionais, visto os sistemas térmicos não sofrerem grande variação); mas, por outro lado, nos entristecer a constatação de que numa instalação nova, com equipamento de aquisição de dados e controlo atual, não foi possível obter os dados que permitissem a análise quantitativa ambicionada.

Bibliografia

ASHRAE, 2016a. Capítulo 25 do 2016 ASHRAE Handbook---HVAC Systems and Equipments.

ASHRAE, 2016b. - Capítulo 3 do 2016 ASHRAE Handbook---HVAC Systems and Equipments.

ASHRAE, 2016c. - Capítulo 37 do 2016 ASHRAE Handbook---HVAC Systems and Equipments.

ASHRAE, 2019. Capítulo 6 do 2019 ASHRAE Handbook---HVAC Applications.

CONSTANTINO, J.M., 1999. Desporto, política e autarquias. Livros Horizonte.

CNQ (Conselho Nacional de Qualidade), 1993, Normativa 23/93 de 24 de maio: A Qualidade nas Piscinas de Uso Público, IPQ.

FONTES, A., 2015. Eficiência energética em complexos de piscinas interiores: Caso da Piscina Municipal Luís Lopes da Conceição. Tese de Mestrado em Eng.^a Mecânica, Universidade de Coimbra.

FSEC (Florida Solar Energy Center), 2006. Solar Water and Pool Heating Manual: Design and Installation & Repair and Maintenance. University of Central Florida.

GONÇALVES, P., 2015. A gestão das piscinas municipais em Pataias. Relatório de Estágio conducente ao Grau de Mestre em Ciências do Desporto – 2º Ciclo em Gestão Desportiva. Universidade do Porto.

GUIMARÃES, B., 2010. Piscinas: Consumos energéticos associados e aplicação de energia renováveis. Estudo de caso realizado em estabelecimentos de ensino privado. Teses de Mestrado em Gestão Desportiva, Universidade do Porto.

KAMPEL, W., AAS, B, BRULAND, A., 2013. Energy-use in Norwegian swimming halls. Energy and Buildings, 59, pp.181-186, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.011>.

OLIVER-SOLÀ, J., ARMERO, M., FOIX, B. M., RIERADEVALL, J., 2013. “Energy and environmental evaluation of municipal facilities: Case study in the province of Barcelona”. Energy Policy, vol.61, pp.920-930.

PETITJEAN, R., 1994. Total Hydronic Balancing. Tour&Anderson, A.B.

RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços), 2015, Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro (versão consolidada).

SARMENTO, P., CARVALHO, M., 2014. Gestão de instalações Desportivas. In: Arraya, M. & Silva, M. (Eds), Tendências Contemporâneas da Gestão Desportiva. Lisboa: Visão e contextos, Edições e Representações, Lda.

