

03-056

Optimization of a swimming pool in its energy and environmental integration with the building

Paulo Cunha; Luís Martins; Eurico Augusto Rodrigues De Seabra; José Carlos Teixeira

Universidade do Minho;

The present article describes an energy system based on a heat pump that can manage the heat energy of the water pool, where the pool water and the house are used as thermal sources (cold source or hot source). The heat flow direction can be changed according to the needs throughout the year. Thus, this work presents all the theoretical grounding for the thermal models of the pool and the house, both coupled to allow the analysis and discussion of the energy balance results and efficiency. Different situations were compared such as the use of an opaque and / or translucent cover, creating a model for both the cooling and heating seasons. Regarding the results, it can be said the system is viable for both the cooling and heating seasons. However, although the results are concise and reasonable, it is necessary to validate this analysis with experimental results because its precision can vary with assumptions made. Besides this comparison, it is also needed to study of the costs associated with the initial investment and maintenance for the consumer.

Keywords: Swimming Pool; Energy Efficiency; Modeling; Heating; Cooling

Otimização de uma piscina na sua integração energético-ambiental com o edifício

O presente artigo descreve um sistema energético que permite gerir a energia calorífica da água da piscina, recorrendo a uma bomba de calor, e onde é utilizada a água da piscina e o interior da casa como fontes térmicas (fonte fria ou fonte quente), podendo o fluxo de calor trocar de sentido consoante as necessidades ao longo do ano. Assim, é demonstrado todo o fundamento teórico na modelação dos modelos térmicos de uma piscina e uma habitação, tendo sido os dois acoplados de modo a permitir a análise e discussão dos resultados do balanço energético e rendimentos obtidos através da comparação de diferentes situações, como por exemplo a utilização de uma cobertura opaca e/ou translúcida, criação de um modelo tanto para a estação de arrefecimento como para a de aquecimento. No que concerne aos resultados, é possível afirmar que o sistema é viável para ambas as estações de arrefecimento e aquecimento. No entanto, embora os resultados sejam concisos e devidamente fundamentados, é necessário validar esta análise com resultados experimentais, pois a precisão destes pode variar consoante as suposições consideradas. Além desta comparação, um estudo dos custos associados ao investimento inicial e manutenção para o consumidor final também é necessário.

Palabras clave: Piscina; Eficiência Energética; Modelação; Aquecimento; Arrefecimento

Correspondencia: Eurico Seabra eseabra@dem.uminho.pt



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introdução

As piscinas são uma fonte importante de consumo de energia e água, onde não havendo cuidados na conservação energética nem planos de manutenção tornam-se rapidamente insustentáveis para o utilizador. De modo a tornar a piscina num elemento para além do lazer definiu-se uma solução otimizada para uma piscina privada, associando o seu funcionamento ao sistema de climatização do edifício incluindo um sistema de controlo integrado.

2. Eficiência Energéticas das Piscinas

As piscinas podem ser classificadas como interiores ou exteriores, enterradas ou não enterradas, podendo ter qualquer tamanho e forma, tal como, diferentes tipos de estrutura e materiais (Qualidade, 1993). O funcionamento de uma piscina consiste basicamente na filtração e tratamento contínuo de modo a manter a qualidade e higiene da água assim como um aspeto limpo e cristalino. A eficiência energética pode ser definida como a otimização do consumo de energia (EDP, 2015). Em vez, de se optar por não ter uma piscina devido à ideia de que existem gastos excessivos tanto a nível energético como de consumo de água, deve-se então contrariar esta tendência apostando em equipamentos mais eficientes e numa utilização mais sustentável.

3. Caso de estudo: Sistema Integrado de Climatização da Piscina e Habitação

De modo a desenvolver um modelo matemático do sistema integrado de climatização da piscina e habitação, procedeu-se primeiramente à modelação de uma piscina simples sem cobertura com uma determinada temperatura inicial. Após a validação do modelo inicial foram feitas comparações do comportamento térmico da piscina com dois tipos de cobertura, isto é, opaca e translúcida. Na segunda fase deste estudo foi desenvolvido um modelo térmico simplificado de uma habitação para as características climáticas da cidade de Braga, assim como, a utilização de parâmetros construtivos com base numa célula de teste existente no campus do INETI no Porto. Por último, fez-se o acoplamento dos dois modelos térmicos de modo a estudar a viabilidade de utilização da piscina como fonte fria e/ou quente para uma bomba de calor. Tendo em conta, o comportamento térmico da piscina para as estações de arrefecimento e aquecimento, foi feita uma análise para cada uma das estações. No caso da estação de arrefecimento o principal objetivo era utilizar o calor da habitação para a aquecer a água da piscina. No caso da estação de aquecimento, o principal interesse passou pela utilização da piscina como fonte fria de modo a aumentar o rendimento da bomba de calor.

3.1 Modelo térmico simplificado da piscina

3.1.1 Insolação

O ganho energético devido à radiação solar pode ser encontrado através da multiplicação da irradiação solar na superfície da piscina com a absorvidade e área da piscina (Jonathan Woolley, 2010), como indica a equação seguinte:

$$\dot{Q}_i = I\alpha A_p \quad (1)$$

3.1.2 Evaporação

A evaporação da água em superfícies livres depende de vários parâmetros, como a temperatura da água, temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do ar, assim como o número e tipo de atividade praticada pelos ocupantes. A equação de Shah é largamente utilizada para cálculos de projeto e análises energéticas. Assim, a taxa de evaporação é calculada pela seguinte equação:

$$E_0 = C\rho_w(\rho_a - \rho_w)^{\frac{1}{3}}(W_w - W_a) \quad (2)$$

3.1.3 Convecção

As perdas por convecção dependem da diferença de temperatura entre a água, o ar circundante e a velocidade do vento. Estas perdas reduzem substancialmente em piscinas interiores ou piscinas protegidas do vento. A lei de Newton do arrefecimento, permite calcular o fluxo de calor por convecção:

$$\dot{Q}_c = h_c A_p (T_w - T_a) \quad (3)$$

A relação entre o coeficiente de transferência de calor por convecção e a velocidade do vento é dada pela equação de Rimsha-Doncenko:

$$h_c = 4.19 (k + 0.45v) \quad (4)$$

Onde:

$$k = 0.93 + 0.04(T_w - T_a) \quad (5)$$

3.1.4 Radiação

As perdas por radiação são superiores durante a noite, especialmente em piscinas exteriores, no entanto, durante o dia há também ganhos solares. A perda por radiação é a perda de calor via radiação infravermelha trocada com o céu e ocorre continuamente e separada da insolação. Esta perda pode ser facilmente calculada através da equação de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_r = A_p \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_{sky}^4) \quad (6)$$

Esta abordagem baseia-se na temperatura efetiva do céu sendo determinada a partir da seguinte equação:

$$T_{sky} = (T_{ar} + 273)(\varepsilon_{sky}^{0.25}) - 273 \quad (7)$$

A emissividade do céu é calculada em função da temperatura de ponto de orvalho e da nebulosidade opaca do céu para cada hora.

$$\varepsilon_{sky} = [0.787 + 0.764 \ln(\frac{T_o + 273}{273})] [1 + 0.224Ca - 0.0035Ca^2 + 0.00028Ca^2] \quad (8)$$

3.1.4 Condução

As perdas por condução pelas paredes da piscina podem ser consideradas desprezáveis porque a maior parte dos solos são maus condutores de calor e as perdas pela base e laterais das piscinas são suficientemente pequenas para ignorar.

3.1.5 Piscina exterior

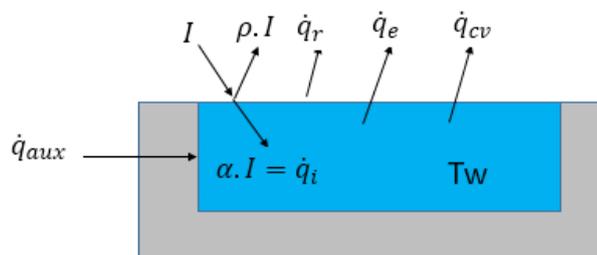
Os principais contribuidores das perdas energéticas de uma piscina exterior são (

Figura 1): as perdas por condução pelas paredes que pode ser desprezável, a convecção (\dot{q}_{cv}) e radiação (\dot{q}_r) e evaporação (\dot{q}_e) pela superfície da piscina. Quanto aos ganhos, são essencialmente contribuídos pela insolação (\dot{q}_i) e pelo aquecimento da água da piscina através aparelhos de aquecimento (\dot{q}_{aux}). Ou seja,

$$\sum \dot{Q}_{perdas} = (\dot{q}_{cv} + \dot{q}_r + \dot{q}_e) \times A_p \quad (9)$$

$$\sum \dot{Q}_{ganhos} = (\dot{q}_i + \dot{q}_{aux}) \times A_p \quad (10)$$

Figura 1: Balanço energético: Piscina Exterior



Assumindo que a água da piscina é idealmente misturada, que é um líquido incompressível e que a densidade e condutividade térmica são constantes é possível desenvolver um modelo térmico da piscina segundo o balanço energético da água descrito pela seguinte equação diferencial:

$$\rho V c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \sum \dot{Q}_{ganhos} + \sum \dot{Q}_{perdas} = \sum \dot{Q}_{Total,i} \quad (11)$$

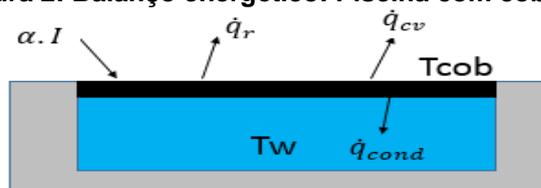
Uma solução muito próxima da equação pode ser descrita, explicitando a temperatura da água no instante T_{i+1} , como:

$$T_{i+1} = \frac{(\sum \dot{Q}_{Total,i} \times \Delta t)}{\rho V c_p} + T_i \quad (12)$$

3.1.6 Piscina com cobertura

Na Figura 2, estão presentes os principais contribuidores das perdas energéticas numa piscina coberta. Ou seja, se a superfície da piscina estiver coberta, as perdas térmicas são reduzidas sobretudo devido à eliminação quase total da evaporação e às perdas por convecção mais reduzidas.

Figura 2: Balanço energético: Piscina com cobertura

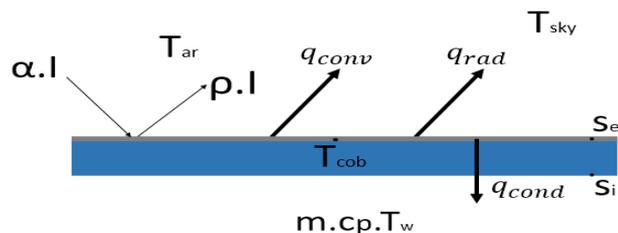


Assumindo um perfil de temperatura estacionário, o balanço térmico da superfície é representado pela seguinte fórmula (não há acumulação de energia):

$$\sum \dot{Q}_s = 0, \text{ ou seja, } \alpha I = q_{conv} + q_{rad} + q_{cd} \quad (13)$$

No caso de cobertura opaca (Figura 3), considera-se válida a lei de *Kirchhoff*, ou seja, para o mesmo corpo e à mesma temperatura, verifica-se: $\epsilon = \alpha$.

Figura 3: Balanço energético: Cobertura opaca

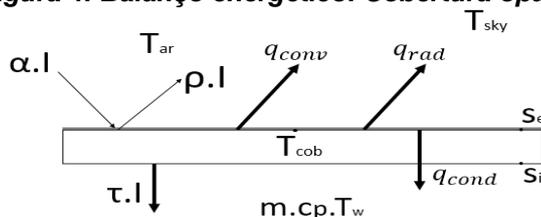


Nesta situação, $\tau = 0$, ou seja, $\alpha + \rho = 1$
Assim, a insolação será:

$$q_i = \alpha \times I \quad (14)$$

Para coberturas translúcidas (Figura 4), como por exemplo, em vidro, a transmissividade é considerada, ou seja, $\alpha + \rho + \tau = 1$

Figura 4: Balanço energético: Cobertura opaca



Assim, a insolação transmitida será:

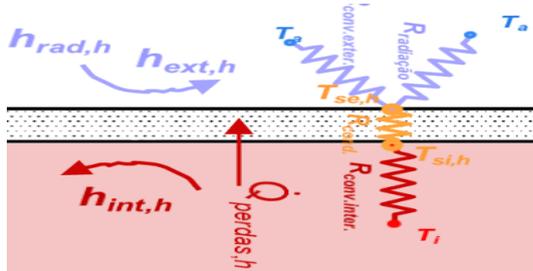
$$q_i = \tau \times I \quad (15)$$

Através da equação de Stefan-Boltzmann é possível calcular as perdas por radiação, sendo:

$$q_r = \varepsilon \sigma (T_{cob}^4 - T_{sky}^4) \quad (16)$$

As perdas por condução pela cobertura são representadas por duas resistências térmicas em série que envolvem a resistência térmica por condução e convecção no interior da piscina (Figura 5).

Figura 5: Representação das resistências térmicas



Isto é:

$$\dot{q}_{cond} = \frac{T_{cob} - T_w}{R_T} \quad (17)$$

Onde podendo-se representar o inverso de R_T , por h_{par} :

$$h_{par} = \frac{1}{\frac{e}{k} + \frac{1}{h_{int,c}}} \quad (18)$$

e: espessura da cobertura, m

Assim:

$$\dot{Q}_{cond} = h_{par} (T_{cob} - T_w) A_p \quad (19)$$

Para a convecção natural (interior e/ou exterior) o processo também é iterativo pois também depende das temperaturas interiores e exteriores da cobertura, inicialmente desconhecidas. As propriedades físicas são calculadas à temperatura do “filme”, T_f , definido como:

$$T_f = \frac{T_s + T_a}{2} \quad (20)$$

Onde, T_s é a temperatura da superfície da placa, °C.

No exterior, ou seja, à superfície da cobertura, é comum haver vento por isso considera-se que há convecção forçada. Assim, a perda por convecção à superfície da cobertura será calculada através da equação seguinte:

$$\dot{Q}_{conv} = h_{cv,e}(T_{cob} - T_{ar})A_p \quad (21)$$

A modelação das perdas pela cobertura requer um processo iterativo onde a partir da equação 23 se irá determinar a temperatura da cobertura em cada hora. Assim:

$$\alpha I = h_{cv,e}(T_{cob} - T_{ar}) + \varepsilon\sigma(T_{cob}^4 - T_{sky}^4) + h_{par}(T_{cob} - T_w) \quad (22)$$

3.2 Modelo térmico simplificado de uma habitação

A habitação a ser utilizada neste modelo matemático apresenta uma geometria simples. (Figura 6). A área útil de pavimento de 100 m² e o pé direito médio de 2,8 m foram baseados em dados do INE, “Estatísticas da construção e da habitação”.

Figura 6: Habitação modelo criada no SketchUp



3.2.1 Zona Climática

Na Tabela 1, é apresentado o resumo dos dados climáticos para a localização definida segundo o RECS.

Tabela 1: Dados climáticos (resumo)

Concelho	ZC de verão	ZC de inverno	Altitude (m)	M (meses)	GD (°C)	$\Theta_{ext, i}$ (°C)	$\Theta_{ext, v}$ (°C)	G_{Sul} kWh/m ² por mês	G_{Sol} kWh/m ² por mês
Braga	V2	I2	100	6,73	1398,7	9,43	20,91	125	453,3

3.2.2. Caracterização dos Elementos da Envolvente

Neste artigo a caracterização térmica da envolvente do edifício, nomeadamente dos parâmetros construtivos (Figura 7, Tabelas 2 e 3) foi realizada com base numa célula de teste existente no campus do INETI no Porto por existir informação bastante detalhada obtida através de várias experiências ao longo dos anos, quer do ponto de vista construtivo e geométrico quer do ponto de vista climático.

Figura 7: Elementos da envolvente

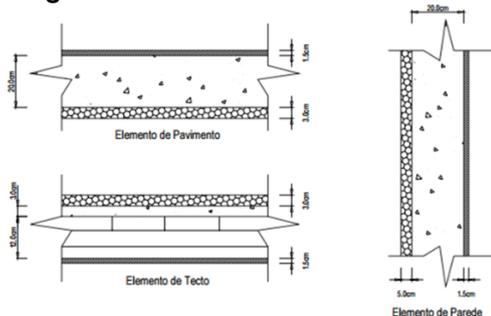


Tabela 2: Valores da transmissão térmica

Elemento	U (W/m^2K)
Parede exterior	0,509
Cobertura	0,603
Pavimento	0,755

Tabela 3: Características do envidraçado

Constituição	e (m)	U ($W/m^2°C$)	$F_{w,i}$	F_g (alumínio)	$F_{w,v}$ (Sul)	$g_{\perp,vi}$
Vidro simples incolor	0,004	5,9	0,9	0,7	0,8	0,88

No balanço energético da habitação são considerados os coeficientes globais de transferência de calor, os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície e os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados. A partir da multiplicação dos coeficientes globais de transferência de calor com a diferença de temperatura registada em cada hora, assim, obtém-se a carga térmica pela envolvente:

$$Q_{h,env} = H_t \Delta T \quad (23)$$

A carga térmica associada aos ganhos internos é calculada através:

$$Q_{h,int} = \frac{q_{int}}{dias \cdot 24 \text{ horas}} A_p \quad (24)$$

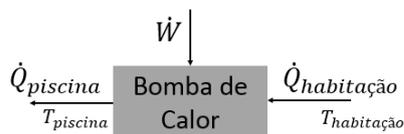
Segundo o REH, o cálculo desta carga térmica é feito numa base de duração média das estações. Esta parcela foi abordada e calculada de uma forma o mais simplista possível onde se desprezou a inércia térmica do edifício. Aqui considerou-se que a fração de envidraçado apenas estaria exposta à insolação durante 4 h/dia no verão e 6 h/dia no inverno, tendo em conta a geometria solar em ambas as estações. Foi considerada a duração média das estações segundo o REH. Onde para a estação de aquecimento, para a zona climática escolhida, $M_i = 6,7$ meses, isto é, aproximadamente, 200 dias. No caso da estação de arrefecimento, $M_v = 4$, ou seja, 122 dias. Assim, o cálculo da carga térmica associada aos ganhos solares pelos vãos envidraçados procedeu-se através da seguinte expressão:

$$Q_{h,sol} = 1000 \frac{Q_{sol}}{dias \cdot \Delta t_{sol}} \quad (25)$$

3.3 Modelo térmico do sistema integrado de climatização da piscina e habitação

Neste modelo, a abordagem utilizada, consistiu na utilização de um COP constante pois a temperatura do edifício é considerada praticamente constante (Pohl, 1999). Na Figura 8, está representada a abordagem utilizada que descreve os fluxos de energia entre o sistema às temperaturas da piscina e da habitação na estação de arrefecimento.

Figura 8: Abordagem simples do modelo térmico para a estação de arrefecimento



Onde:

$\dot{Q}_{habitacao} = \dot{Q}_{evaporador}$: carga térmica de arrefecimento da habitação, W;

$\dot{Q}_{piscina} = \dot{Q}_{condensador}$: carga térmica rejeitada para a piscina, W.-

O Índice de Eficiência Energética, EER, é definido por:

$$EER = \frac{|\dot{Q}_{habitacao}|}{\dot{W}} \quad (26)$$

e como (aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica),

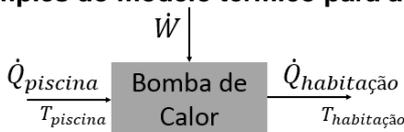
$$\dot{Q}_{piscina} = \dot{W} + \dot{Q}_{habitacao} \quad (27)$$

Combinam-se ambas as equações, fixando o EER, é possível calcular a carga térmica rejeitada na piscina. Isto é,

$$\dot{Q}_{piscina} = \dot{Q}_{habitacao} \left(1 + \frac{1}{EER}\right) \quad (28)$$

Para a estação de aquecimento utiliza-se a mesma abordagem, mas com sentido inverso, isto é, à uma troca entre fontes como representado na Figura 9.

Figura 9: Abordagem simples do modelo térmico para a estação de aquecimento



Onde:

$\dot{Q}_{habitacao} = \dot{Q}_{condensador}$: carga térmica de arrefecimento da habitação, W;

$\dot{Q}_{piscina} = \dot{Q}_{evaporador}$: carga térmica rejeitada para a piscina, W.

O Coeficiente de Performance, COP, é definido por:

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{habitacao}|}{\dot{W}} \quad (29)$$

Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica,

$$\dot{Q}_{habitacao} = \dot{W} + \dot{Q}_{piscina} \quad (30)$$

Combinam-se ambas as equações, fixando o COP, é possível calcular a carga térmica rejeitada na piscina. Isto é,

$$\dot{Q}_{piscina} = \dot{Q}_{habitacao} \left(1 - \frac{1}{COP}\right) \quad (31)$$

A partir das cargas térmicas obtidas das equações anteriores comparam-se as eficiências nominais de uma bomba de calor de baixa temperatura ar/água do tipo *split*. As eficiências de uma bomba de calor dependem das temperaturas no condensador e evaporador. Num ciclo ideal de compressão sem perdas é possível atingir o COP ou EER máximo possível (eficiência de Carnot). No entanto, na prática existem vários fatores que afetam negativamente a eficiência. Assim, calcularam-se a eficiência de aquecimento e arrefecimento da bomba de calor, através dos COP e EER nominais.

$$\eta_{calor} = \frac{COP_{nominal}}{COP_{Carnot}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad (32)$$

$$\eta_{frio} = \frac{EER_{nominal}}{EER_{Carnot}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \frac{T_h - T_c}{T_c} \quad (33)$$

Na Figura 10 estão representados os esquemas representativos do funcionamento do sistema de acordo com a estação em causa que permitem melhor interpretar as equações apresentadas anteriormente, onde:

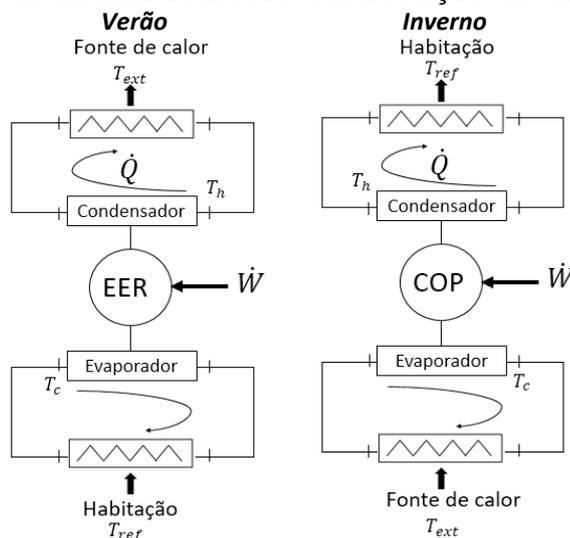
\dot{Q} : capacidade de aquecimento/arrefecimento, kW;

\dot{W} : potência absorvida pela bomba, kW;

T_h : temperatura de saída (inverno) / entrada (verão) no condensador, K;

T_c : temperatura de saída (inverno) / entrada (verão) no evaporador, K.

Figura 10: Esquemas representativos do funcionamento do sistema de acordo com a estação em causa



Na Tabela 4 são apresentados os dados relevantes da tabela técnica da bomba de calor assim como os valores das eficiências anteriormente referidas.

Tabela 4: Dados necessários retirados da tabela técnica

	Aquecimento			Arrefecimento		
Capacidade nominal	6,84		kW	8,16		kW
Potência nominal	1,58		kW	2,78		kW
			COP			2,94
Limite de funcionamento	-20 - 25			10 - 43		
Condições de medição	T_h	35	°C	T_h	35	°C
	T_c	7	°C	T_c	18	°C
	η_{calor}	0,39		η_{frio}	0,17	

A partir das eficiências calculadas, procedeu-se ao cálculo dos COP's reais segundo o tipo e valor da temperatura da fonte de calor. Tendo em conta que a comparação dos COP's reais para as diferentes fontes é baseada numa bomba de calor ar-água, é necessário ter

em atenção as diferentes propriedades térmicas da água e do ar. Isto é, sendo a piscina uma fonte de calor de água, seria necessário utilizar uma bomba de calor água-água para ser possível este cálculo. Assim, de modo a simplificar este problema foi considerada uma majoração/minoração de 5 °C para a temperatura da água pois não é possível determinar o comportamento da bomba de calor água-água sem resultados experimentais. Esta alteração tem em conta a superioridade da difusividade da água como um fluido térmico em relação ao ar leva a que a bomba de calor água-água funcione com um COP e EER superior aos da bomba de calor ar-água para as mesmas temperaturas das fontes.

Utilizando os rendimentos de calor e frio calcularam-se, então, os COP's reais, isto é,

$$COP_{real}(t) = \eta_{calor} \frac{T_h}{T_h - T_{ext}(t)} \quad (34)$$

$$EER_{real}(t) = \eta_{frio} \frac{T_c}{T_{ext}(t) - T_c} \quad (35)$$

Onde: T_{ext} : temperatura da fonte de calor, K

A habitação poderá ser arrefecida utilizando a piscina como fonte quente. Em algumas horas, a diferença de temperatura entre as fontes é quase zero, e o EER tende para o infinito, para evitar este problema considerou-se um EER máximo de 8.

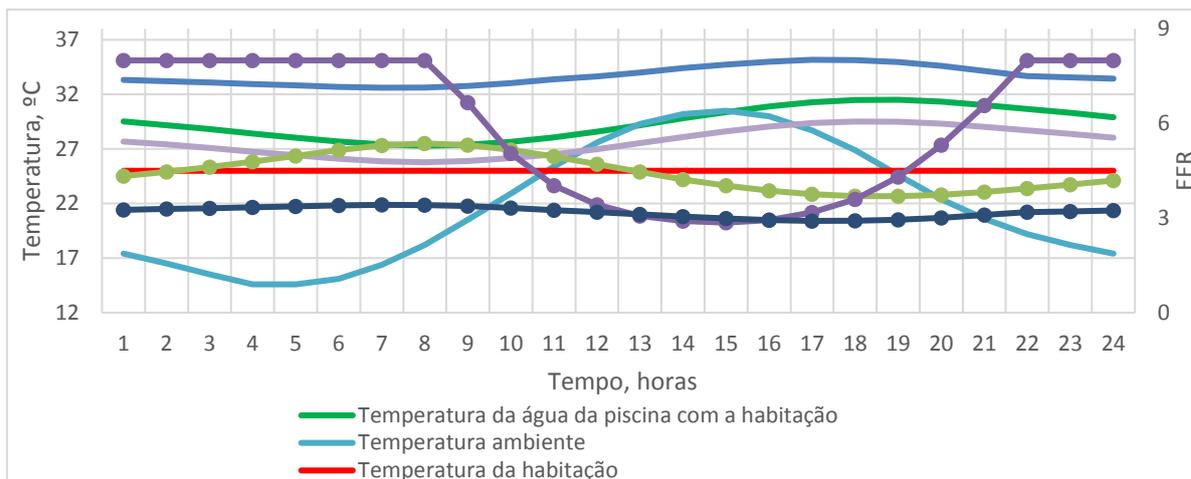
4. Análise e discussão dos resultados

4.1. Modelo Térmico do Sistema Integrado de Climatização da Piscina e Habitação

4.1.1 Estação de Arrefecimento

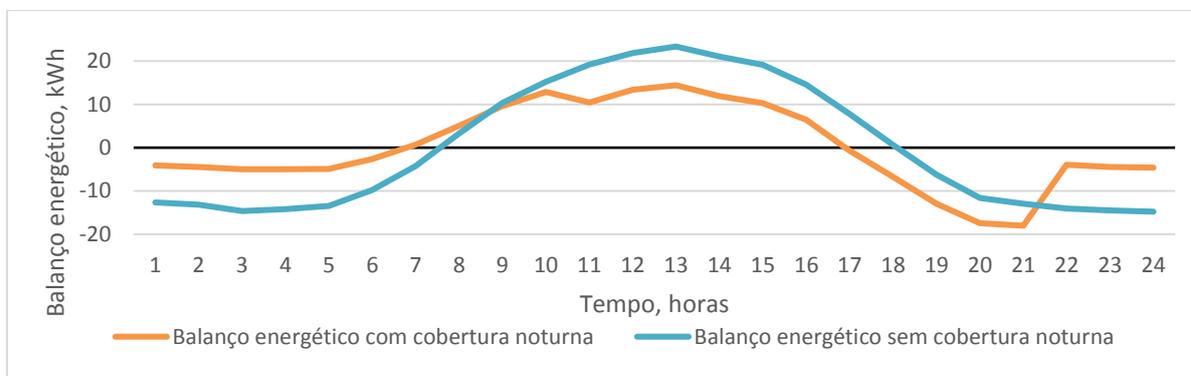
Na Figura 11, está representada a comparação dos balanços do EER e temperaturas de funcionamento no dia 15 de julho, tendo a piscina descoberta o dia inteiro ou utilizando uma cobertura automática que cobre a piscina entre as 22 horas e as 10 horas. Como se pode verificar, além de uma ligeira temperatura superior da água da piscina quando não se utiliza a cobertura, é possível, também, verificar que o EER da bomba de calor selecionada é mais constante durante as 24 horas. Isto deve-se sobretudo à troca de calor com a piscina, que apresenta uma temperatura praticamente constante ao longo do dia, permitindo também manter uma diferença de temperaturas entre as duas fontes bastante menor durante as horas de menor insolação. Com a cobertura automática consegue-se obter uma temperatura bem mais elevada da água da piscina, no entanto, o EER desce consideravelmente pois a diferença de temperaturas é bastante maior.

Figura 11- Rendimentos e temperaturas de funcionamento em piscina coberta para o dia 15 de julho



Na Figura 12, está presente a comparação de balanços energéticos da piscina estando coberta ou descoberta durante a noite. Embora os ganhos durante o dia sejam menores, as perdas são substancialmente reduzidas durante a noite.

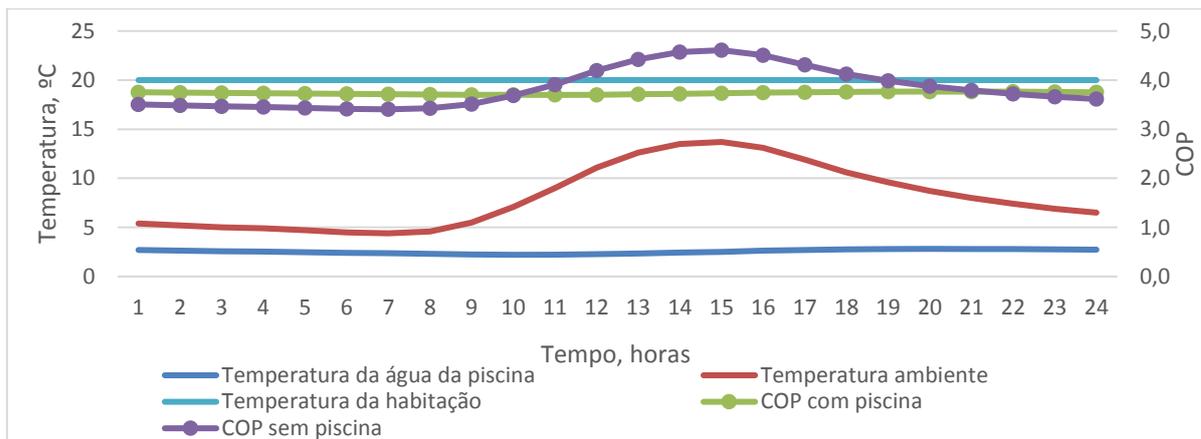
Figura 12: Comparação do balanço energético da piscina coberta 22h - 10h no dia 15 de junho



4.1.2 Estação de Aquecimento

Na estação de aquecimento, o principal interesse é a utilização da piscina como fonte fria, isto é, a utilização deste sistema na estação de aquecimento passa sobretudo pelo aumento do COP da bomba de calor. Assim, neste caso a piscina estaria coberta durante a estação completa de modo a atingir-se o máximo de rendimento de calor. Na Figura, verifica-se o COP esperado, isto é, como a temperatura da piscina se mantém praticamente constante durante as 24 horas e devido aos ganhos obtidos durante o dia, é possível obter, também, um COP constante, ao contrário do que acontece se se trocasse calor com o ambiente. No entanto, nas horas de maior temperatura exterior e insolação (11h – 17h) é mais vantajoso utilizar a troca de calor com o ar pois apresenta maior COP. A carga térmica da habitação para esse dia pode ser consultada na Figura 13.

Figura 13: Rendimentos e temperaturas de funcionamento em piscina coberta para o dia 15 de janeiro



Uma das principais vantagens é o facto de a temperatura da água não chegar ao ponto de solidificação e não necessitar de uma fonte externa para fundir o gelo criado, o que acontece muito frequentemente numa bomba de calor ar/água tradicional.

5. Conclusões e trabalhos futuros

Os resultados da utilização do modelo térmico da piscina, na sua simulação transiente para uma série de dias típicos de verão e de inverno, sem cobertura superficial da água, com cobertura opaca e com cobertura translúcida permitiram tirar as seguintes conclusões:

- Sem cobertura da superfície da água, a sua evaporação representa significativas perdas térmicas;

- Após uma sucessão de dias típicos de julho e sem cobertura, a temperatura da água, da piscina ao longo das 24 h oscila entre os 25,8 °C e 29,5 °C. Com cobertura opaca e com cobertura translúcida os valores são respetivamente entre os 34,8 °C e os 36,5 °C e entre os 45,0 °C e os 47,4 °C;

- Com a(s) cobertura(s) as perdas térmicas são reduzidas (sobretudo por evaporação que são nulas), levando a um aumento da temperatura média da água e uma menor oscilação ao longo do dia;

- a cobertura da superfícies da água, durante os períodos em que a piscina não é utilizada, permite uma utilização mais confortável com uma temperatura da água superior, mesmo quando não é utilizado qualquer sistema de aquecimento.

Através da análise dos resultados da simulação energética do sistema proposto, que inclui uma bomba de calor, no inverno a retirar calor da piscina para o aquecimento da habitação e no verão a arrefecer a habitação enviando o calor para a piscina, é possível afirmar que o sistema é viável para ambas as estações de arrefecimento e aquecimento devido ao facto da temperatura da água da piscina ser praticamente constante ao longo do dia permitindo utilizar a piscina como uma fonte de calor mais viável do que trocar de calor com o ar exterior. Além desta vantagem, muito importante para ambas as estações, durante a estação de arrefecimento, este sistema permite a ausência e/ou diminuição dos gastos com o aquecimento da piscina, que muitas vezes é ignorado pelo consumidor devido ao facto de se tornar uma despesa cara para o efeito que se pretende.

É importante salientar que a modelação da habitação é demasiado simplista, sendo necessário fazer uma simulação num software apropriado, onde se considerariam os dados climáticos numa base horária e não numa base estacional como é o caso do REH, ou seja, uma simulação dinâmica do sistema em que se considere uma habitação com características mais complexas, isto é, mais vãos envidraçados, distinção de espaços úteis de não úteis e consideração da inércia térmica do edifício. O modelo da piscina também poderá ser mais complexo, e.g. passando de um modelo uniponto em que a temperatura instantânea da água é constante em toda a piscina para um onde se considere a estratificação e as perdas ou ganhos pela envolvente. Outro fator a ter em conta, é a necessidade de haver uma validação dos resultados através da comparação com dados experimentais, pois embora na descrição do modelo matemático, as equações utilizadas e a teoria por trás do modelo estejam comprovadas, e os resultados pareçam aceitáveis, não é possível garantir a viabilidade de uma instalação real devido às muitas suposições consideradas para simplificar o modelo, sendo também necessário fazer um estudo dos custos de manufatura e materiais a utilizar num protótipo para teste.

6. Referências

- Adene. (2014). Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial. Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial. Algés, Portugal: Adene.
- Afonso, C. (2013). Refrigeração. FEUP, Porto, Portugal.
- Alves, A. P. (Outubro de 2011). Simulação térmica multizona de um edifício escolar. Escola de Engenharia - Universidade do Minho, Portugal.
- Asdrubali, F. (2009). A scale model to evaluate water evaporation. ResearchGate.
- EDP, G. (2015). Grupo EDP. Guia da Eficiência Energética. Portugal: Grupo EDP.
- Energia, D. G. (2005). Manual de Gestão de Energia, Portugal.
- Faten Hosney Fahmy, H. M. (2014). Journal of Next Generation Information Technology(JNIT). Swimming Pool System Based on Geothermal Energy in Egypt. Giza, Egípto: Electronics Research Institute.
- Ferreira, A. T. (2012). Simulação térmica transiente de paredes de edifícios. Escola de Engenharia - Universidade do Minho, Portugal.
- Imperial, P. (2016). doutor-piscina.piscinasimperial.pt. Obtido de Doutor Piscina: <http://doutor-piscina.piscinasimperial.pt/> em 3 de outubro de 2016.
- Jonathan Woolley, C. H. (2010). Swimming pools as heat sinks for air conditioners. California: University of California Davis.
- Lobarinhas, P. (2016). Apontamentos de Frio. Ciclos de Refrigeração, Universidade do Minho, Portugal.
- Martins, L. (2015). Palestra nº2 - Integradora IV. Estufa secadora de roupa portátil. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Portugal.
- Pohl, S.-E. (1999). Use of Air Conditioning Heat Rejection for. University of Wisconsin, Madison.
- Shah, M. M. (2003). Analytical Formulas for Calculating Water Evaporation from Pools. USA: ASHRAE.