

## Estudo numérico da transferência de calor na superfície livre de uma piscina com convecção natural

### Numerical study of heat transfer on the free surface of a swimming pool with natural convection

#### RESUMO

**Andrevidy Ivo Honório**  
[andrevidy@hotmail.com](mailto:andrevidy@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Marcos Antonio De Souza Lourenço**  
[mlourenco@utfpr.edu.br](mailto:mlourenco@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Fábio Kenji Suguimoto**  
[fsuguimoto@utfpr.edu.br](mailto:fsuguimoto@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Este trabalho visou realizar o estudo dos efeitos da convecção natural na superfície livre de uma piscina em um recinto fechado. Para efeitos de estudo isolado da convecção natural, a evaporação foi desconsiderada e a perda de calor devido a presença de nadadores no interior da piscina também foi desprezada. O estudo numérico foi realizado através do software livre *OpenFoam* no qual a geometria de um bloco foi construída e as condições de contorno impostas para todas as faces foram gradiente nulo exceto para a face superior que foi perda de calor por convecção na superfície livre. Nos resultado foi possível analisar que a temperatura média da piscina diminuiu com a variação do tempo, além disso também foi analisado o perfil de velocidade da superfície para o fundo da piscina em duas posições distintas, primeiramente próximo a parede da piscina e posteriormente próximo ao centro da piscina, foi possível analisar que as maiores velocidades e conseqüentemente os maiores gradientes de massa específica ocorrem na superfície e no fundo da piscina, além disso também foi possível visualizar através do gráfico que a velocidade máxima próxima a parede é superior a velocidade máxima próximo ao centro da piscina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Convecção natural. Superfície livre. Temperatura média. Perfil de velocidade. Piscina.

#### ABSTRACT

The goal of this work was to analyze the natural convection on the free surface of the swimming pool. For this study, the effects of the evaporation on the swimming pool was not considered and the presence of the swimmers in the pool was not taken in account. The numerical study was realized by the free software *OpenFoam* where the block geometry was constructed and the zero gradient condition was imposed for all boudaries except for the top, where was imposed the natural convection condition. In the results were possible to see that the mean temperature has decreased with the time, other interesting result showed in this work was the velocity profile, in this case the maximum velocity near the boundary of the swimming pool is greather than the maximum velocity near the center of the pool.

**KEYWORDS:** Natural convection. Free surface. Mean temperature. Velocity profile. Swimming pool.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

A convecção natural é um fenômeno de transferência de calor que se distingue da convecção forçada pela inexistência de uma força motriz, segundo (Incropera, 2008, p. 355) esse fenômeno, na maioria dos casos, é proveniente da existência de um gradiente de massa específica e de um campo gravitacional no qual o efeito líquido é uma força de empuxo.

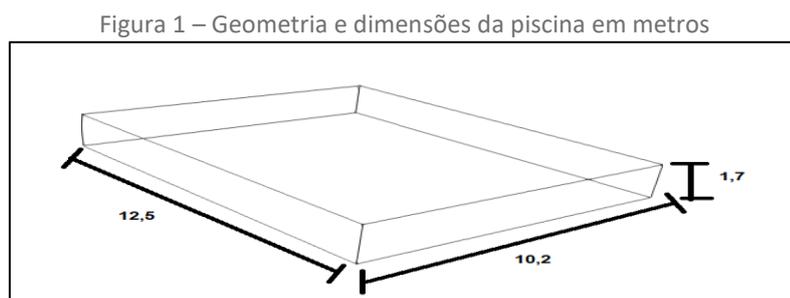
Apesar da perda de calor por convecção natural ser menor, quando comparada com a convecção forçada, seus efeitos não podem ser ignorados, uma vez que são de extrema relevância para aplicações industriais e cotidianas. Dentre essas aplicações podem ser citadas a influência nas temperaturas de operação em dispositivos de geração de potência e eletrônicos, o desempenho de um papel importante em uma ampla faixa de aplicações de processamento térmico, o estabelecimento de distribuições de temperatura no interior de edificações e na determinação de perdas de calor ou cargas térmica em sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ambientes.

Dentre as aplicações citadas anteriormente nas quais o fenômeno de convecção natural exerce um papel importante, cabe salientar uma que será objeto de estudo desse trabalho, que é a perda de calor por convecção natural em piscinas expostas ao ar ambiente. Dentro da literatura existem alguns estudos que foram dedicados ao tema da perda de calor em piscinas, dentre eles podem ser destacados o de (Smith et. all, 1994, p. 3-7) no qual mostraram que a transferência de calor por evaporação depende da velocidade do vento e da diferença da pressão de vapor entre o ar e a água enquanto (Bowen, 1926, p. 779-787) estudou a relação entre a perda de calor por evaporação e a perda de calor por convecção. No trabalho de (Mello, et. all, 2008, p. 1-2) foi realizado um estudo para avaliar a economia obtida através da instalação de toldos na superfície de uma piscina, concluindo que poderia ser obtida uma economia de R\$ 1126,68 ao ano.

Dentro do contexto exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência isolada da convecção natural na variação de temperatura média de uma piscina.

## METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma avaliação numérica da influência da convecção natural na variação de temperatura média e no perfil de velocidade da superfície para o fundo em uma piscina no interior de um recinto fechado na qual a geometria e as dimensões são ilustradas na Figura 1.



Fonte: Autoria própria (2020)

Para efeitos de simulação e análise isolada da influência da convecção natural foram consideradas algumas hipóteses simplificadoras que podem ser observadas abaixo:

- Temperatura do recinto constante;
- Efeito da convecção forçada desprezível (recinto fechado);
- Efeito da evaporação desconsiderado;
- Efeito da perda de calor pela presença de nadadores desconsiderado;
- Escoamento turbulento.

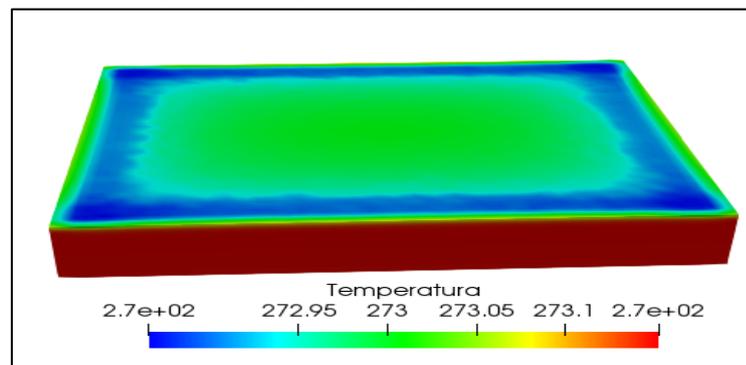
O escoamento foi resolvido através do software livre *OpenFoam*, as condições de contorno aplicadas a todas as faces foi de gradiente nulo, exceto para a face superior na qual foi imposta uma condição de contorno de perda de calor para o ar ambiente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito isolado da convecção natural na distribuição de temperatura média ao longo do tempo no interior da piscina e o perfil de velocidade com a variação de profundidade da mesma.

A Figura 2 mostra o campo de temperatura simulado, conforme pode ser visto a superfície da piscina está a uma temperatura inferior as outras regiões, isso ocorre devido à perda de calor por convecção natural da região da piscina que está em contato com o ar.

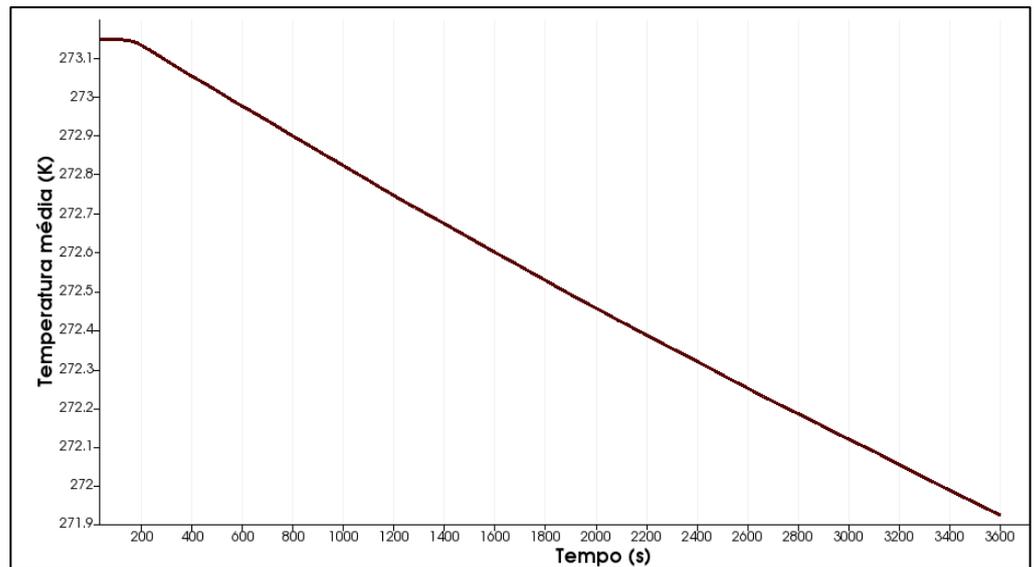
Figura 2 – Campo de temperatura em Kelvins



Fonte: Autoria própria (2020)

Um aspecto importante a se avaliar nesse tipo de problema é a variação da temperatura média da piscina com o tempo, isso acontece pois a transferência de calor ocorre primeiramente entre a superfície da piscina e o ar, porém, posteriormente a região da superfície da piscina com uma temperatura menor, e conseqüentemente com uma densidade maior tenderá a descer para o interior da piscina enquanto a região mais quente que possui uma densidade maior tenderá a subir provocando um fenômeno de recirculação, que provoca uma variação da temperatura média com o tempo, conforme é mostrada na Figura 3.

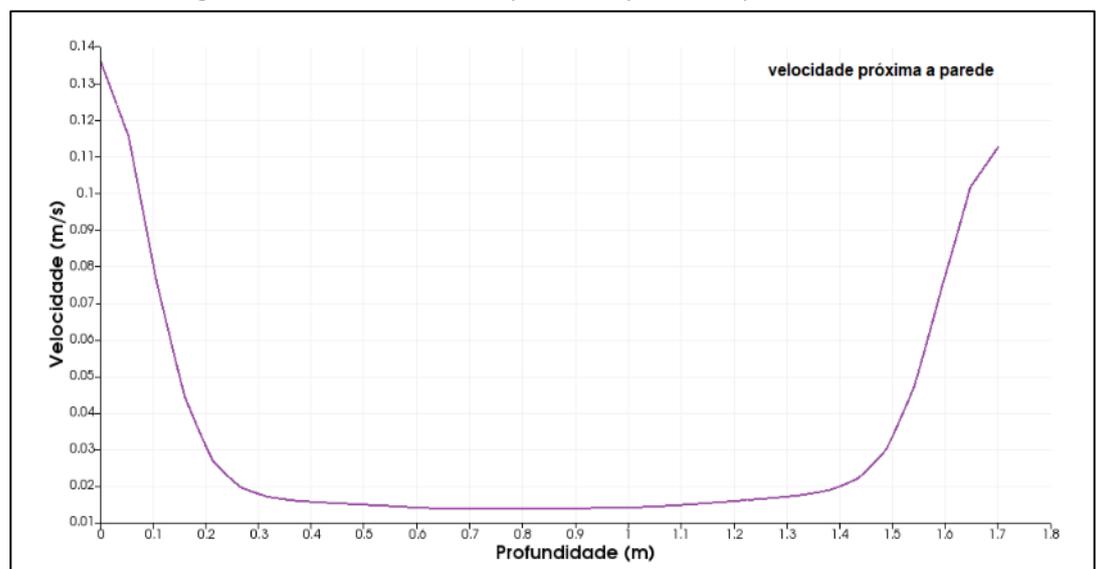
Figura 3 – Variação da temperatura média com o tempo



Fonte: Autoria própria (2020)

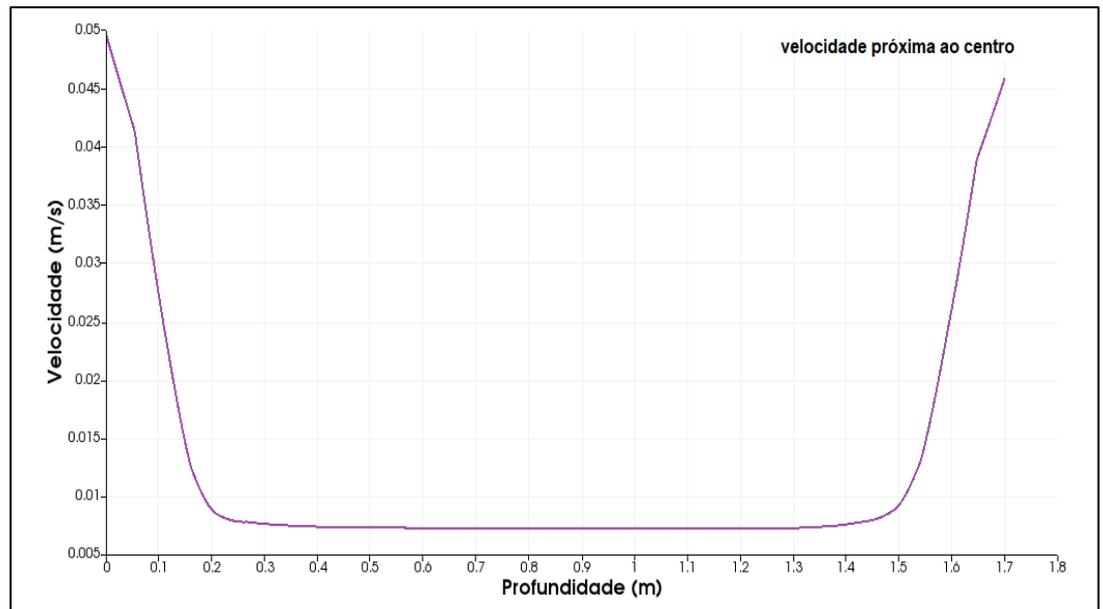
Sabendo da existência do gradiente de massa específica entre a água da superfície da piscina e a água que se encontra em uma maior profundidade, se torna interessante a análise do perfil de velocidade proveniente do gradiente que gera um movimento do fluido, nesse fenômeno, o fluido mais frio que tende a ir para o fundo da piscina e o fluido mais quente tende a subir para a superfície da piscina, esse fato é mostrado nas Figura 4 e Figura 5, tal que a Figura 4 mostra o perfil de velocidade próximo a parede da piscina, e a Figura 5 mostra o perfil próximo ao centro da piscina.

Figura 4 – Perfil de velocidade próximo a parede da piscina



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 5 – Perfil de velocidade próximo ao centro da piscina



Fonte: Autoria própria (2020)

Nos gráficos mostrados acima, a posição inicial representa o fundo da piscina e a posição 1.7 m representa a superfície da mesma, conforme pode ser observado, são as duas regiões que apresentam uma maior velocidade, isso ocorre porque o gradiente nessas regiões é maior quando comparado com as outras.

Através das Figura 4 e Figura 5 a diferença entre os gráficos torna possível perceber que o gráfico do perfil de velocidade próximo a parede apresenta uma velocidade máxima maior de 0.14 m/s em relação ao gráfico do perfil de velocidade próximo ao centro que apresenta uma velocidade máxima de 0.05 m/s, a explicação para esse fenômeno é a existência de uma maior recirculação próximo as paredes da piscina.

## CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido tornou possível a avaliação de alguns dos efeitos da convecção natural sobre a distribuição média de temperatura da piscina, incluindo a distribuição de temperatura média e o perfil de velocidades próximo ao centro e próximo a parede da piscina.

Vale ressaltar que esse trabalho teve uma finalidade estritamente acadêmica uma vez que visou o aprendizado e a aplicação de uma ferramenta computacional voltada a um problema de engenharia. No entanto, esse trabalho poderá servir como base para o desenvolvimento de trabalhos futuros que visem uma avaliação mais detalhada da perda de energia em piscinas proveniente da convecção natural associada a outros fenômenos incluindo uma avaliação de custos proveniente desses fenômenos.

## REFERÊNCIAS

ASDRABULI. F. **A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools.** Energy and buildings, 2008.

BOWEN. I. S. **The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface.** Physical review, v. 27, p.779-787, 1926.

INCROPERA. F. P.; DEWITT. D. P.; BERGMAN. T. L.; LAVINE. A. S. **Fundamentos da transferência de calor e de massa.** 6ed, LTC.

MELLO. C. A. L.; GUARENGHI. M. M.; TOGAWA. V. A. **Estudo sobre a ineficiência do aquecimento das piscinas da faculdade de educação física da Unicamp.** Revista ciências do ambiente, v. 4, p.1-2, 2008.

SMITH. C. C.; LOF. G.; JONES. R. **Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool.** Solar energy, v. 53, p.3-7, 1994.