



## MODELO CILÍNDRICO DO SISTEMA TÉRMICO DO CORPO HUMANO

Thales Loiola Raveli, Prof. Dr. Carlos Eduardo K. Mady

### Resumo

O presente trabalho objetiva a proposição de um modelo do sistema térmico do corpo humano para obtenção de análises de conforto térmico. Como base para tal modelo foi utilizada uma simplificação da literatura que considerava o corpo humano como um cilindro de quatro camadas (núcleo, gordura, músculo e pele) cuja forma de simulação admite que cada camada tenha um perfil de temperaturas uniformes. O presente projeto usa o método dos volumes finitos para aprimorar tal modelo, a partir do qual será proposto, no futuro, correlações com conforto térmico.

**Palavras-chave:** Modelo, corpo humano, conforto térmico;

### Introdução

Conforto térmico é um dos fatores determinantes da produtividade e bem-estar das pessoas em todos os ambientes (trabalho, estudo, residência). Tal “sensação” provém de diversos fatores como características físicas do indivíduo (massa, altura, área da pele), temperatura ambiente, umidade específica do ar, roupas utilizadas, sudorese, vasoconstrição e vasodilatação e tremores.

O presente modelo tem o objetivo de avaliar o sistema térmico do corpo humano e é uma aproximação do corpo humano em um cilindro<sup>2</sup>, dividido em núcleo, músculo, gordura e pele, como ilustra a figura 1, e cada uma dessas camadas possui subdivisões (pequenos volumes) para aplicação do método dos volumes finitos.

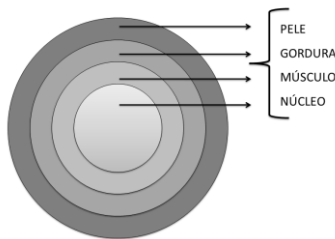


Figura 1. Divisão das camadas no modelo

O balanço de energia em cada nó leva em conta o calor transferido por condução (de nó a nó), pela perfusão sanguínea (modelo de Pennes (1948) de troca de calor entre sangue e tecido nos pequenos vasos) e pelo metabolismo gerado. Além disso, há também trocas de calor com o ambiente, que serão tratadas a seguir. Um balanço possível para um nó interno é:

$$\rho_p c_p V_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left( k_p A_{wp} \frac{\partial T_p}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( k_p A_{pe} \frac{\partial T_p}{\partial r} \right) + S_p \quad (1)$$

No qual P representa o nó a ser avaliado, E representa seu nó seguinte (em direção ao ambiente), e W representa o nó anterior (em direção ao núcleo). S<sub>p</sub> resume outras trocas envolvidas, como geração de calor associada ao metabolismo, convecção, radiação e evaporação como trocas com o ambiente, e respiração no núcleo. Ademais, é usado um sistema de controle para vaso contração ou dilatação, sudorese e tremores.

A equação 1 aliada com o balanço de energia no reservatório central de sangue 1 é uma equação diferencial parcial, e, no presente trabalho, foi escolhido o

método dos volumes finitos para resolve-la. A partir desse método, foi feito um programa em linguagem C para solucionar esse sistema de equações através de iterações desse método numérico.

### Resultados e Discussão

Em condições de neutralidade térmica (30°C e 50% de umidade relativa), foi obtido o perfil de temperatura da figura 2. Depois dessa etapa, foi implementado também um sistema de controle, com o objetivo de modelar o sistema termorregulador do corpo com suor na superfície da pele, vasoconstrição e vasodilatação, e tremores.

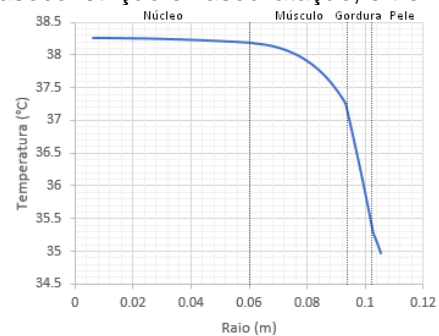


Figura 2. Perfil de temperaturas do cilindro para cada camada

### Conclusões

A partir dos resultados obtidos, vê-se que o perfil de temperatura obtido representa melhor o modelo proposto por Pennes<sup>3</sup>, porém a temperatura do núcleo encontra-se um pouco acima do previsto. Dessa forma, a partir desse modelo é possível avaliar a resposta térmica do modelo para diferentes condições ambientais e assim comparar com o modelo proposto por Fanger

### Agradecimentos

Os autores agradecem o CNPq (PIBIC) pela bolsa de iniciação científica e o último autor agradece a FAPESP pelo auxílio regular, projeto 2015/22883-7

<sup>1</sup> FANGER, P.O. Thermal comfort. Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1970.

<sup>2</sup> MADY, C.E.K.; FERREIRA, M.S.; YANAGIHARA, J.I.; OLIVEIRA, S. Human body exergy analysis and the assessment of thermal comfort conditions. International Journal of Heat and Mass Transfer, Elsevier, v. 77, p. 577-584, 2014.

<sup>3</sup> PENNES, H.H. Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm. Journal of applied physiology, Am Physiological Soc, v. 1, n. 2, p. 93-122, 1948.