

Modelo do Sistema Térmico Humano: parte passiva

Maurício Silva Ferreira, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário da FEI,
e-mail: mauricio.ferreira@fei.edu.br

Jurandir Itizo Yanagihara, Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica - USP,
e-mail: jiy@usp.br

Introdução

Um modelo do sistema térmico humano pode ser dividido em duas partes. A primeira, o sistema passivo, é descrito por equações resultantes da aplicação de balanços de energia e massa para um volume de controle em torno do tecido. A segunda parte, o sistema regulador é o responsável pela manutenção da temperatura corporal.

Vários modelos podem ser encontrados na literatura. Aqueles compostos por um cilindro (Ferreira e Yanagihara,1999) podem ser aplicados para avaliar condições globais de conforto térmico e investigar a influência de parâmetros fisiológicos. Modelos formados por vários cilindros, como o de Takemori et al. (1995), podem ser utilizados em aplicações mais sofisticadas, destacando-se: a avaliação de conforto térmico local.

Descrição do modelo

o modelo é composto por 15 cilindros representando os seguintes segmentos do corpo humano: cabeça, pescoço, tronco, braços, antebraços, mãos, coxas, pernas e pés (Figura 1). Os cilindros de seção transversal elíptica, característica inédita do modelo, permitem melhor representação geométrica do corpo humano. Os cilindros foram subdivididos em camadas representando os tecidos termicamente e fisiologicamente relevantes (Figuras 2 a 5). Uma camada adicional de roupa foi incluída no modelo.

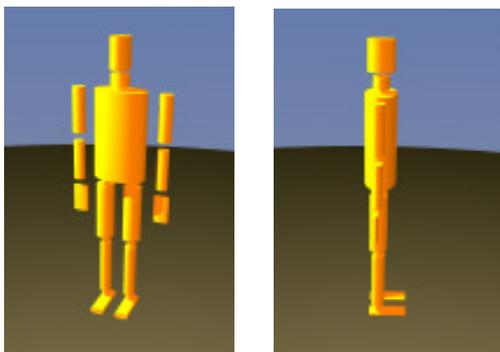


Figura 1: Representação geométrica do modelo (em escala).

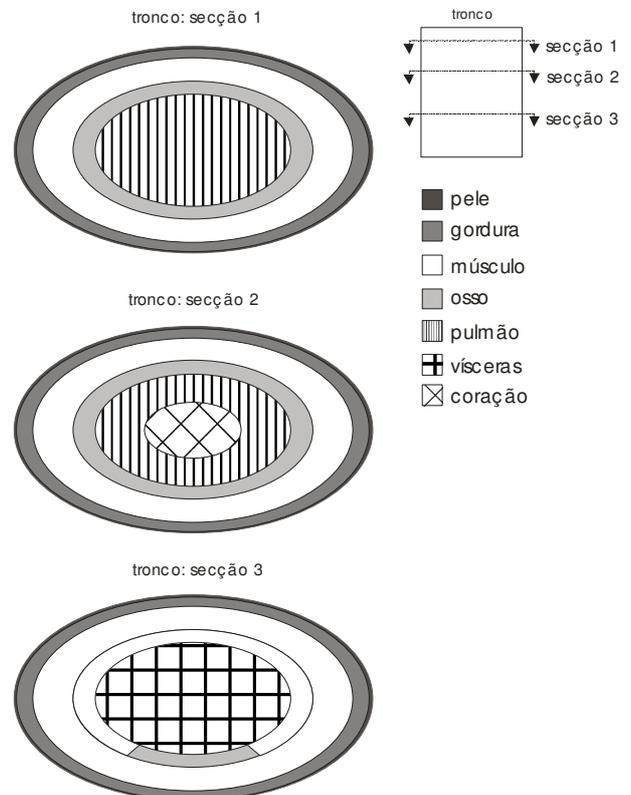


Figura 2: Distribuição de camadas no tronco.

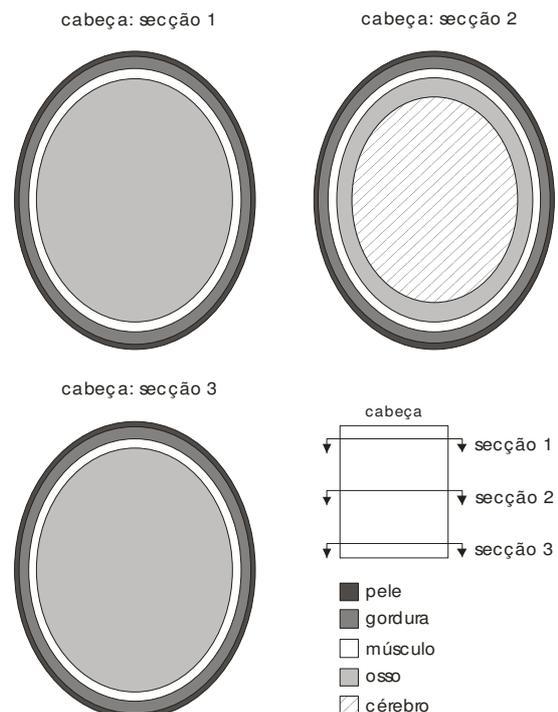


Figura 3: Distribuição de camadas na cabeça.

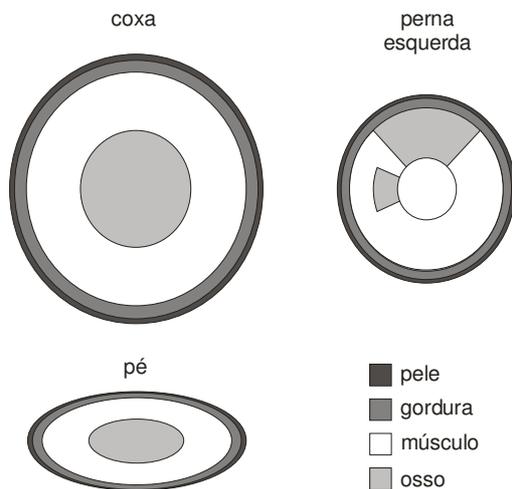


Figura 4: Camadas nos membros inferiores.

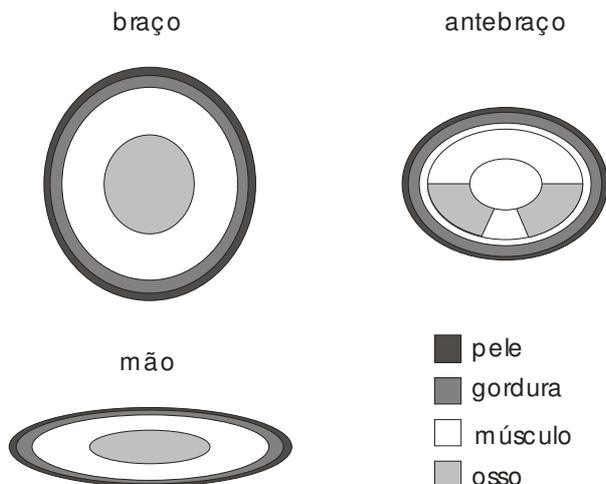


Figura 5: Camadas nos membros superiores.

Condução de calor 3D nos tecidos e transferência de calor por convecção, radiação, evaporação e respiração com o ambiente foram consideradas. Assim sendo, obtém-se uma equação diferencial parcial por cilindro. Quanto à transferência de calor entre sangue e tecido, os pequenos vasos foram tratados como um meio contínuo e os grandes separadamente. Cada cilindro possui dois reservatórios, um de sangue arterial e outro venoso, dispostos lado a lado, permitindo troca de calor entre ambos. Aplicando-se balanços de energia e massa para cada reservatório obtém-se duas equações diferenciais ordinárias por cilindro, descrevendo a variação da temperatura do sangue com o tempo.

Resultados e Discussão

Alguns resultados da simulação de exposição a ambiente neutro (velocidade do ar inferior a 0,15m/s, ambiente a 30°C e umidade relativa de 50%) são apresentados na Tabela 1. A temperatura média das vísceras, admitida como representativa da retal, foi de 36,7°C.

As temperaturas superficiais ficaram entre 32 e 34°C. A temperatura obtida do cérebro e das vísceras é maior que a do sangue arterial que os alimenta, pois este os refrigera. O sangue dissipará este calor recebido ao circular pelos membros. Compare, por exemplo, a temperatura do sangue venoso na coxa com a do arterial neste segmento.

Tabela 1: Temperaturas médias (°C).

	Pele	Vísceras	Cérebro	Arterial*	Venoso*
<i>Cabeça</i>	34,2	-----	36,8	36,6	36,8
<i>Tronco</i>	34,1	36,7**	-----	36,6	36,6
<i>Braço</i>	34,1	-----	-----	36,2	35,4
<i>Mão</i>	32,4	-----	-----	34,7	33,9
<i>Coxa</i>	34,1	-----	-----	36,3	35,7

* sangue ** Temperatura retal

Nas simulações observou-se que os maiores gradientes de temperatura ocorrem na direção radial, com temperaturas internas maiores que as superficiais. Na Figura 6 é apresentado o perfil de temperatura nos membros inferiores. Nota-se que próximo do centro a temperatura é praticamente constante, enquanto que nas proximidades da superfície observa-se uma queda brusca. Esta queda ocorre no interior da camada de gordura, que funciona no corpo humano como um isolante térmico. Comportamento semelhante pode ser observado nos demais segmentos.

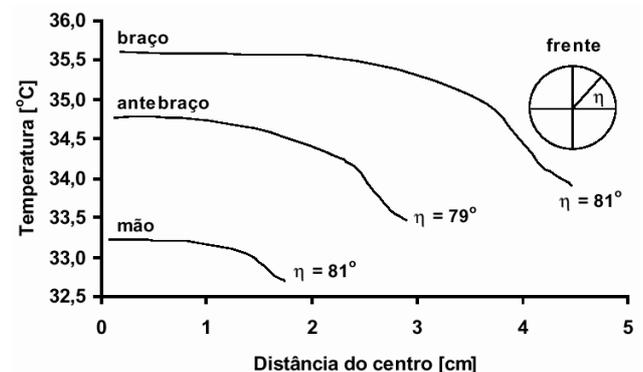


Figura 6: Perfil de temperatura na direção radial nos membros superiores.

Referências bibliográficas

- Ferreira, M. S., and Yanagihara, J. I., 1999, "A Thermoregulatory Model of the Human Body: Exposure to Hot Environment," Brazilian Journal of Biomedical Engineering, Vol. 15 (1-2), pp. 87-96.
- Takemori, T., Nakajima, T., and Shoji, Y., 1995, "A Fundamental Model of the Human Thermal System for Prediction of Thermal Comfort," Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers, v. 61, pp. 1513-1520.