

## 5.1 Transferência de calor

A transferência ou transmissão de calor entre sistemas termodinâmicos, ou entre regiões diferentes de sistemas termodinâmicos, pode ocorrer por condução, convecção ou radiação.

Na transmissão de calor por condução, os átomos ou as moléculas de materiais em contacto transferem momento através das colisões atômicas ou moleculares. O equilíbrio térmico é atingido quando as temperaturas nas várias sub-regiões do sistema termodinâmico se tornam iguais. Durante os processos de condução de calor, não há transporte de massa. Por exemplo, no contacto directo entre sólidos, a transmissão de calor é feita por condução. Na secção 2.6 foram analisadas algumas aplicações da teoria da condução do calor.

A convecção ocorre em líquidos e gases, onde as forças de coesão intermoleculares são pequenas, quando comparadas com as mesmas forças nos sólidos. Na convecção, o mecanismo de transferência de calor é semelhante ao da condução. No entanto, existe fluxo de matéria no interior dos sistemas. Este fluxo de matéria pode ser causado por flutuações locais de densidade, quando, em regiões localizadas de um material, a velocidade média das partículas é muito elevada. Neste caso, a densidade média local em regiões adjacentes decresce, induzindo o transporte de massa. A convecção pode ocorrer quando é estabelecido um gradiente de temperatura entre diferentes regiões do sistema termodinâmico (figura 5.1a)), contrariando o efeito de isolamento térmico estudado anteriormente no Exemplo 2.8.

**Exemplo 5.1:** A circulação atmosférica deve-se a processos de convecção originados por gradientes de temperatura entre a superfície da Terra a as grandes altitudes da tropoesfera (figura 5.1b)). ■

A transferência de calor por radiação deve-se à emissão de radiação electromagnética causada pelas vibrações atômicas e moleculares no interior dos materiais.<sup>1</sup> Os agentes que transportam energia são os fotões, por um lado, considerados como radiação electromagnética, mas por outro, como partículas ou quanta de energia.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ao vibrar, uma partícula com carga emite radiação electromagnética. Uma “partícula” sem carga, ao vibrar, não emite radiação electromagnética. Em 1897, Larmor derivou a fórmula para a potência radiada por uma partícula ao ser acelerada.

<sup>2</sup> O conceito de fóton foi introduzido por Einstein em 1905 para explicar o efeito fotoelétrico (A. Einstein, On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light, *Annalen der Physik*, vol. 17 (1905) 132-148). Como escreveu Max Born, “a luz é constituída por quanta (corpúsculos) de energia  $hf$  que se propagam no espaço como uma saraivada de

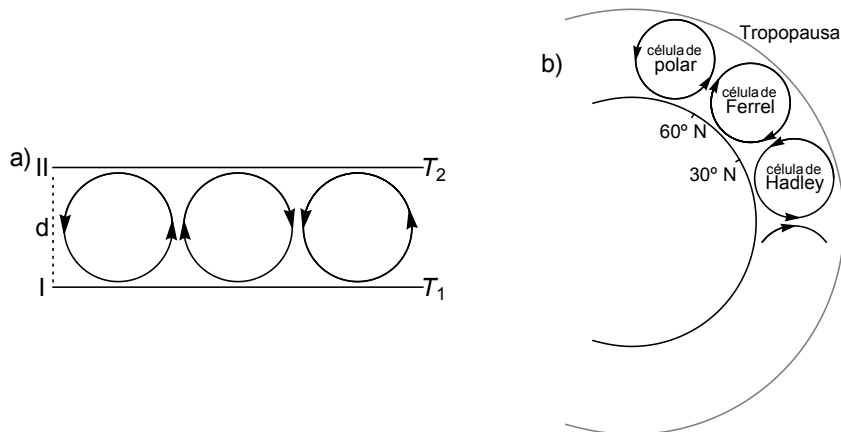


Figura 5.1: a) Células de convecção no interior de um fluido, induzidas pelo gradiente de temperatura imposto nas superfícies de separação I e II. As células de convecção surgem quando  $d > d^*$ , em que  $d^*$  é uma distância crítica que depende das características do fluido. Para  $d \leq d^*$ , a temperatura no interior do fluido varia linearmente entre  $T_1$  e  $T_2$ . Este fenómeno foi descrito no século XIX e as células de convecção são muitas vezes designadas por células de Rayleigh-Bénard. b) Células de convecção da atmosfera terrestre. Devido ao gradiente de temperatura entre a superfície da Terra e a temperatura do espaço circundante, existem três células de convecção permanentes localizadas entre o equador e cada um dos pólos. As células de Hadley e as células polares funcionam como máquinas térmicas de sentido directo. As células de Ferrel funcionam como máquinas térmicas de sentido inverso. As regiões equatoriais e as regiões com latitudes próximas de  $60^\circ$  N e  $60^\circ$  S são regiões de baixas pressões. As regiões polares e as regiões com latitudes próximas de  $30^\circ$  N e  $30^\circ$  S são regiões de altas pressões. O clima da Terra é determinado em larga escala por estes ciclos termodinâmicos, juntamente com os efeitos associados à rotação da Terra.

---

projécteis, com a velocidade da luz” (Max Born, Física Atómica, pág. 94, Edição da Fundação Gulbenkian). Einstein, no seu artigo de 1905, escreveu: “In accordance with the assumption to be considered here, the energy of a light ray spreading out from a point source is not continuously distributed over an increasing space, but consists of a finite number of energy quanta which are localized at points in space, which move without dividing, and which can only be produced and absorbed as complete units.”

A teoria cinética dos gases é insuficiente para explicar os fenômenos experimentais da transferência de calor por radiação, sendo necessário recorrer a uma teoria cinética em que se incluem alguns princípios da teoria da relatividade restrita e da mecânica quântica.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>As descobertas nas áreas da relatividade e da mecânica quântica dominaram a investigação em física durante a primeira metade do século XX.