

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
UNESP
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

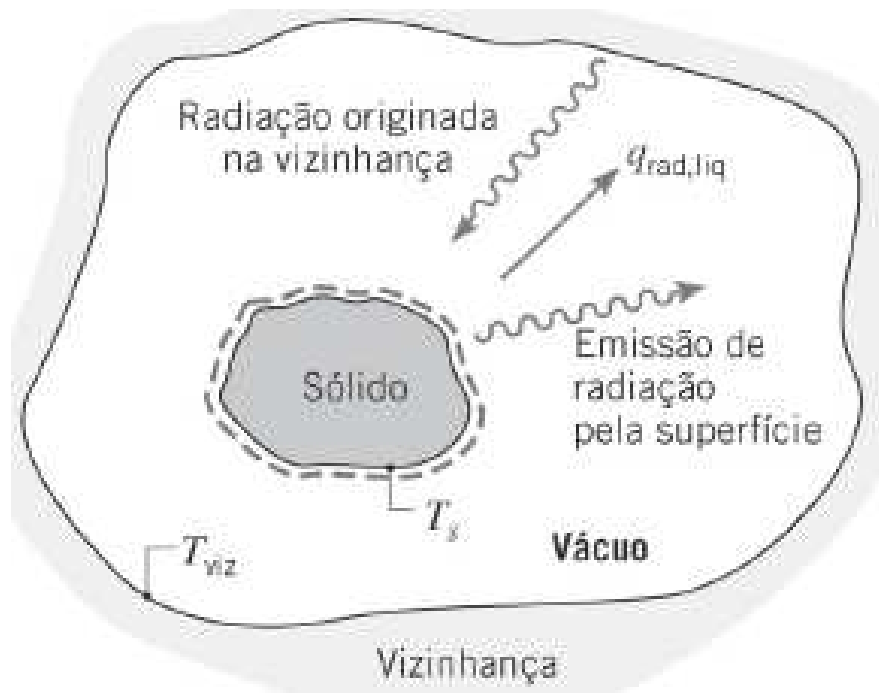
PEM 00141 – RADIAÇÃO TÉRMICA

PROF. DR. SANTIAGO DEL RIO OLIVEIRA

- É necessário a presença de um **gradiente de temperaturas em alguma forma de matéria** na condução e convecção.
- Já a transferência de calor por radiação térmica **não exige a presença de um meio material.**
- É relevante em processos industriais de **aquecimento, resfriamento e secagem**, assim como em métodos de **conversão de energia** que envolvem a **combustão de combustíveis fósseis** e a **radiação solar**.
- Nesse curso será dada ênfase nas **interações radiantes em uma superfície** e às propriedades que devem ser apresentadas para descrever essas interações.

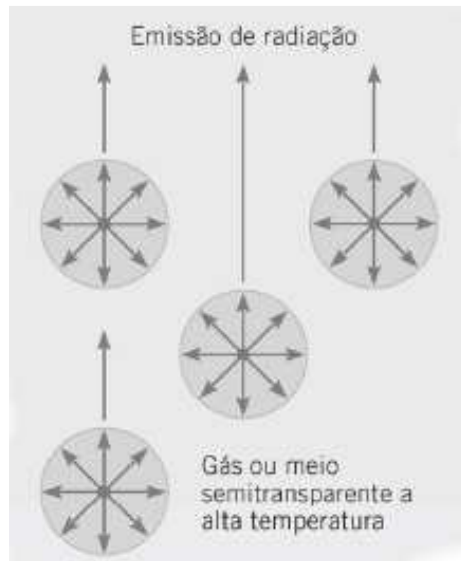
12.1-CONCEITOS FUNDAMENTAIS

- Seja um sólido inicialmente a T_s em uma vizinhança a T_{viz} onde há vácuo.



- O vácuo **impede** condução e convecção.
- Com $T_s > T_{viz}$ o sólido irá **resfriar** até atingir o equilíbrio com a vizinhança.
- Esse resfriamento é devido a **emissão de radiação pela superfície** (redução da energia interna).
- O sólido **recebe radiação** da vizinhança.
- Com $T_s > T_{viz}$, $q_{rad,liq}$ está saindo da superfície até que $T_s = T_{viz}$.

- Radiação térmica é a taxa na qual a energia é emitida pela matéria como um resultado de sua temperatura não-nula.
- Está associada as oscilações e transições dos elétrons que compõe a matéria. Por sua vez, essas oscilações e transições estão relacionadas a energia interna. Já a energia interna está relacionada a temperatura. Logo, a emissão de radiação térmica está diretamente relacionada à temperatura da matéria.
- Todas as formas de matéria emitem radiação térmica.
- Em gases e sólidos semitransparentes como o vidro e cristais de sais a elevadas temperaturas a emissão é um fenômeno volumétrico.

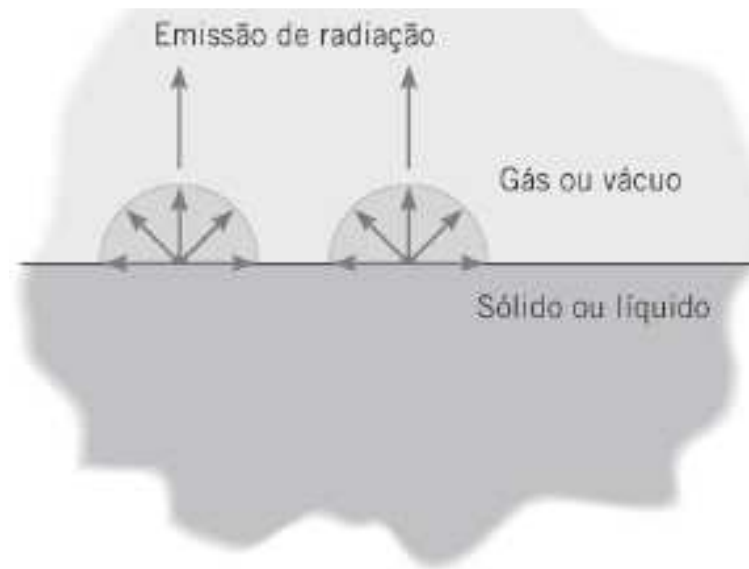


- Um cristal é um sólido organizado num padrão tridimensional bem definido, formando uma estrutura com uma geometria específica.
- Cristais de sais podem ser de: cloreto de sódio, sulfato de magnésio, bicarbonato de sódio, sulfato de cobre.

- Entretanto, nesse curso trataremos a radiação como um **fenômeno de superfície**.

- Essa é uma situação comum em **sólidos** e **líquidos**, no qual a radiação emitida pelas moléculas localizadas no interior do volume é **fortemente absorvida pelas moléculas adjacentes**.

- Então, a radiação emitida é a partir de aproximadamente $1\mu\text{m}$ da superfície exposta.

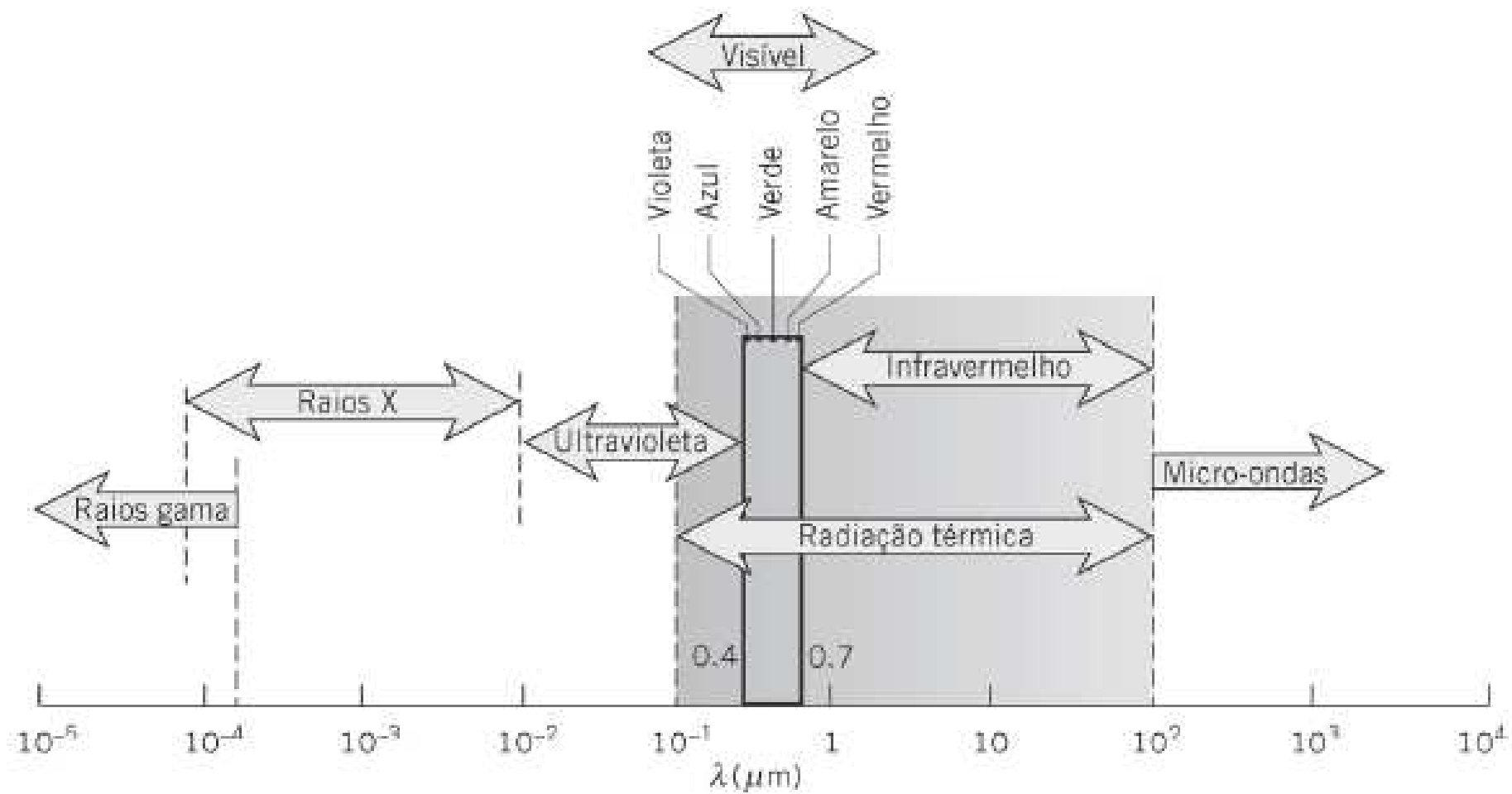


- Em geral, duas teorias são aceitas para explicar a **emissão da radiação**:
 1. Através de um conjunto de partículas conhecidas como **fótons** ou **quanta**.
 2. Através da propagação de **ondas eletromagnéticas**.

- É comum atribuir a radiação as **propriedades de ondas**. Para uma frequência ν e comprimento de onda λ , para a radiação se propagando em um meio tem-se que:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ (c é a velocidade da luz no meio, sendo } 2,998 \times 10^8 \text{ m/s para propagação no vácuo)}$$

- Abaixo pode ser visto o espectro eletromagnético e suas regiões:
 1. **Pequenos comprimentos de onda** (raios gama, raios X, ultravioleta) são de interesse de físicos e engenheiros nucleares.
 2. **Grandes comprimentos de onda** (micro-ondas e ondas de rádio) são de interesse da engenharia elétrica.
 3. É a **região intermediária** que é chamada de radiação térmica $0,1 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 100 \mu\text{m}$.

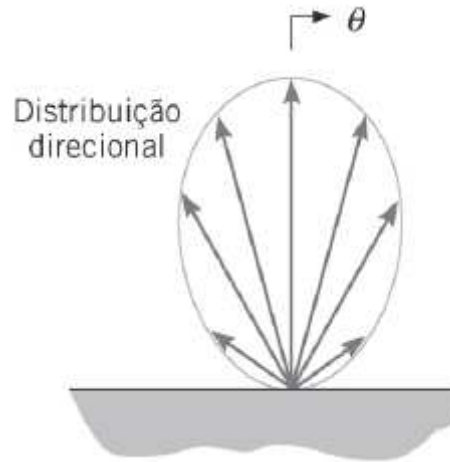


- Essa região inclui **parte do UV, todo o espectro visível e o infravermelho**.
- Recebe o nome de radiação térmica porque **afeta a temperatura da matéria**. Por isso seu estudo é pertinente a transferência de calor.
- A **magnitude da radiação varia com o comprimento de onda** e o termo **ESPECTRAL** é usado para se referir a natureza dessa dependência.



- A distribuição espectral varia com a **natureza** da superfície emissora.
- A distribuição espectral varia com a **temperatura** da superfície emissora.

- A radiação térmica tem característica **DIRECIONAL**, podendo emitir preferencialmente em certas direções



- Os **efeitos espectrais e direcionais** serão tratados em detalhes, sendo os principais complicadores na análise de radiação térmica.

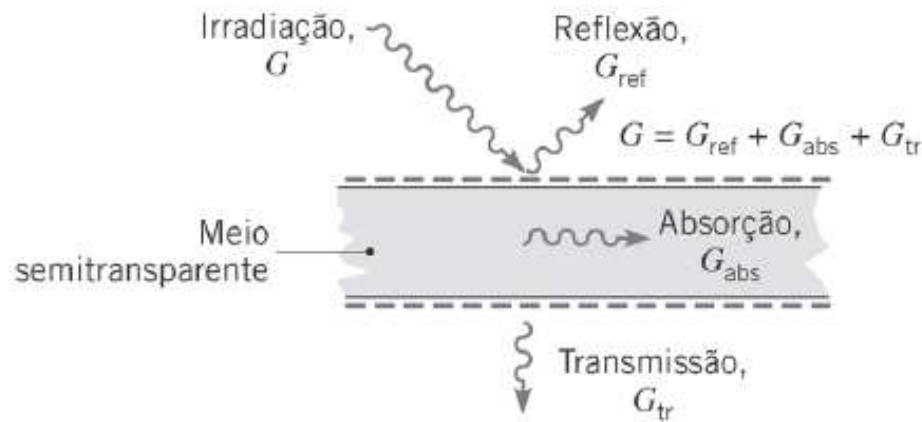
12.2-FLUXOS TÉRMICOS RADIANTES

-Quatro fluxos radiantes são pertinentes na análise da radiação térmica.

Fluxo (W/m ²)	Descrição	Comentário
Poder emissivo, E	Taxa na qual radiação é emitida de uma superfície por unidade de área	$E = \epsilon \sigma T_s^4$
Irradiação, G	Taxa na qual radiação incide sobre uma superfície por unidade de área	Irradiação pode ser refletida, absorvida ou transmitida
Radiosidade, J	Taxa na qual radiação deixa uma superfície por unidade de área	Para uma superfície opaca $J = E + \rho G$
Fluxo radiante líquido, $q''_{\text{rad}} = J - G$	Taxa líquida de radiação deixando uma superfície por unidade de área	Para uma superfície opaca $q''_{\text{rad}} = \epsilon \sigma T_s^4 - \alpha G$

- **PODER EMISSIVO**, E (W/m²), é a taxa na qual radiação é emitida por uma superfície por unidade de área superficial, em todos os comprimentos de onda e em todas as direções: $E = \epsilon \sigma T_s^4$ (será deduzida posteriormente).

- Radiação pode vir da vizinhança, que pode ser múltiplas superfícies a várias temperaturas, do sol ou por um laser.
- Em qualquer caso, define-se **IRRADIAÇÃO**, G (W/m²), como a taxa na qual radiação incide sobre uma superfície por unidade de área superficial, em todos os comprimentos de onda e em todas as direções.
- Em função do **destino da irradiação**, definem-se os dois fluxos radiantes restantes.
- Quando a radiação incide sobre um meio semitransparente (placa de água, vidro transparente), parcelas da irradiação podem ser transmitidas, absorvidas e refletidas.



- **TRANSMISSÃO**: radiação atravessando o meio, por exemplo, radiação solar ou luz artificial.
- **ABSORÇÃO**: radiação interage com o meio, aumentando sua energia interna
- **REFLEXÃO**: a radiação é direcionada para fora da superfície sem efeito do meio.

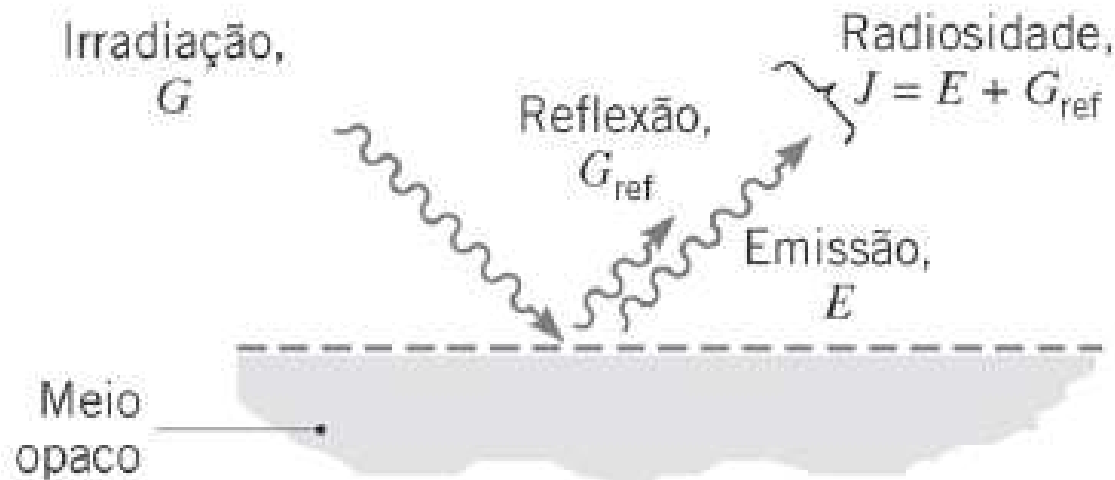
- **REFLETIVIDADE**: fração da irradiação que é refletida $\rho = G_{ref} / G$

- **ABSORTIVIDADE**: fração da irradiação que é absorvida $\alpha = G_{abs} / G$

- **TRANSMISSIVIDADE**: fração da irradiação que é transmitida $\tau = G_{tr} / G$

- Tem-se também que: $G_{ref} + G_{abs} + G_{tr} = G \Rightarrow \frac{G_{ref}}{G} + \frac{G_{abs}}{G} + \frac{G_{tr}}{G} = \frac{G}{G} \Rightarrow \rho + \alpha + \tau = 1$
- Para um meio opaco ($\tau = 0$) tem-se que $\rho + \alpha = 1$, ou seja, $G_{tr} = 0$.
- **RADIOSIDADE**, J (W/m²), é a taxa na qual radiação deixa uma superfície por unidade de área superficial, em todos os comprimentos de onda e em todas as direções.
- A radiosidade leva em conta **toda a energia radiante deixando uma superfície**.
- Para um meio semitransparente ela é composta por: **emissão, parte refletida da irradiação e parte transmitida da radiação de baixo para cima** (verificar figura).

- Para um **meio opaco**, a radiosidade é representada por: $J = E + G_{ref} = E + \rho G$



- O **FLUXO RADIANTE LÍQUIDO**, q_{rad}'' (W/m²), é a diferença entre as radiações saindo e as radiações entrando na superfície: $q_{rad}'' = J - G$

- Para uma superfície opaca ($\tau = 0$):

$$q_{rad}'' = J - G = E + G_{ref} - G = E + \rho G - G = E - G(1 - \rho) = \varepsilon \sigma T_s^4 - \alpha G$$

- As grandezas E , J e G são importantes no cálculo da taxa de transferência de calor radiante líquida $q_{rad} = q_{rad}'' \times A$, que usualmente é a grandeza de interesse em análises.
- Entretanto, as grandezas E , J e G também são utilizadas em aplicações envolvendo detecção de radiação e medidas de temperaturas.
- Para quantificar as grandezas E , J e G e q_{rad}'' , as naturezas espectral e direcional da radiação devem ser conhecidas.
- Os efeitos direcionais são considerados utilizando o conceito da intensidade da radiação enquanto os efeitos espectrais são considerados utilizando o conceito de corpo negro.