

Texto de apoio



JUSTIÇA CLIMÁTICA

E PLANOS DE PROTEÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA
NAS REDES ESCOLARES E ESCOLAS

Módulo 1 | Dia 1 | Fundamentos do Clima

Prof. **Alexandre Luis Junges** (alexandre.junges@ufrgs.br)

Temperaturas Planetárias e Efeito Estufa

Historicamente foi o cientista francês Jean Baptiste Fourier (1768-1830), possivelmente, o primeiro a tornar o conceito de temperatura planetária um objeto de estudo da ciência. Assumindo que o Sol é a principal fonte de energia para Terra, Fourier raciocinou que se a Terra recebe energia do Sol ela também deve reemitir energia de volta para o espaço para evitar um aquecimento ilimitado. Assim, para a Terra e também para os demais planetas, deve existir uma temperatura de equilíbrio para a qual a taxa de energia absorvida é igual à taxa de energia emitida.

Ao nível do nosso sistema solar, considerando que o espaço interplanetário é muito próximo de um estado de vácuo, a única forma de transferência de energia entre o Sol e seus planetas ocorre na forma de radiação eletromagnética. A irradiância solar (energia por unidade de tempo e de área) que chega ao planeta depende de fatores como a luminosidade do Sol e da distância do planeta ao Sol. Para o caso da Terra, a irradiância solar medida no topo da atmosfera terrestre apresenta um valor em torno de 1360 W/m^2 . Antigamente a irradiância solar era denominada de “constante solar”, porém sabe-se hoje que ela apresenta uma pequena variação de cerca de 0,1% de pico a pico em um ciclo de máximos e mínimos num período aproximado de 11 anos.

Contudo, nem toda energia solar incidente sobre o planeta é absorvida. Em geral, boa parte dessa energia é refletida de volta para o espaço pela atmosfera (incluindo as nuvens) e pela superfície do planeta. Essa quantidade de energia refletida é conhecida como o albedo do planeta e para a Terra corresponde a 30% da energia incidente. A taxa de energia absorvida (potência) pela Terra pode ser obtida multiplicando a irradiância solar (I) pela área do disco com o raio da Terra e descontando o valor do albedo (a) do planeta. Ou seja:

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \pi \times (\text{Raio})^2 \times \text{Irradiância Solar} \times (1 - \text{albedo})$$

Por sua vez, como apontado acima, se o planeta absorve energia ele deve reemitir-la de volta para o espaço na mesma taxa. Para determinar a taxa em que os planetas emitem energia de volta ao espaço, precisamos recorrer a uma lei física denominada “Lei de Stefan-Boltzmann”. Essa lei diz que a energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta desse corpo, ou seja, $I = \sigma \cdot T^4$ (onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ é a constante de Stefan-Boltzmann e T é a temperatura absoluta do corpo em Kelvin). Assim, para obter a taxa total de energia (potência) emitida por um planeta é preciso multiplicar a intensidade (I)

Texto de apoio



JUSTIÇA CLIMÁTICA

E PLANOS DE PROTEÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA
NAS REDES ESCOLARES E ESCOLAS

Módulo 1 | Dia 1 | Fundamentos do Clima

Prof. Alexandre Luis Junges (alexandre.junges@ufrgs.br)

pela área da superfície do planeta que, neste caso, corresponde à área de uma esfera cujo raio é o próprio raio do planeta em questão. Ou seja:

$$\text{Taxa de energia emitida} = 4\pi \times (\text{Raio})^2 \times \sigma \times (\text{Temperatura})^4$$

Podemos agora obter uma expressão matemática para a temperatura do planeta aplicando a condição de equilíbrio térmico, ou seja, igualando a taxa de energia absorvida com a taxa de energia emitida. Fazendo os rearranjos matemáticos obtemos:

$$\text{Temperatura} = \sqrt[4]{\frac{\text{Irradiância Solar} \times (1 - \text{albedo})}{4\sigma}}$$

A temperatura obtida dessa forma é também chamada de “temperatura efetiva” de um planeta. A Tabela 1 apresenta um comparativo de dados dos planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, a partir dos quais foram calculados os valores da temperatura efetiva (penúltima coluna) usando a equação acima. A última coluna apresenta temperaturas médias da superfície dos planetas obtidas a partir de observações.

Tabela 1 - Dados planetários Vênus, Terra e Marte.

Planeta	Irradiância Solar (W/m ²)	Albedo	CO ² Atmosférico (%)	Temperatura Efetiva (°C)	Temperatura Média de Superfície (°C)
Mercúrio	9082	0.068	-	166	167
Vênus	2601	0.77	96	- 47	464
Terra	1361	0.30	0.04	-18	15
Marte	586	0.25	95	-63	-65

Fonte: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>

É interessante comparar as temperaturas efetivas calculadas com os valores das temperaturas de superfície de cada planeta. Para Terra a temperatura efetiva calculada é de - 18 °C, um valor muito baixo e caso a Terra tivesse essa temperatura a vida como a conhecemos não poderia existir. Felizmente a temperatura média observada na superfície da Terra é 15 °C, última coluna da Tabela 1. Temos, assim, uma distinção importante a fazer entre a *temperatura efetiva* e a *temperatura de superfície* de um planeta. Podemos notar que em Mercúrio e Marte a temperatura efetiva e de superfície são praticamente iguais. Contudo, em Vênus os valores da temperatura efetiva e de superfície são novamente bem distintos

Texto de apoio



JUSTIÇA CLIMÁTICA

E PLANOS DE PROTEÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA
NAS REDES ESCOLARES E ESCOLAS

Módulo 1 | Dia 1 | Fundamentos do Clima

Prof. **Alexandre Luis Junges** (alexandre.junges@ufrgs.br)

dos valores observados na superfície. Como *explicar a diferença entre a temperatura efetiva e a temperatura de superfície nos planetas Terra e Vênus?*

Cientistas que estudam atmosferas planetárias nos ensinam que em um planeta que possui uma atmosfera substancial (consideravelmente espessa e que contém gases de efeito estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida pela atmosfera antes que alcance o espaço exterior. Dessa maneira, um instrumento localizado no espaço não detectaria a radiação emitida pelo planeta como sendo proveniente da superfície, mas de uma região emissora da atmosfera localizada a uma certa altitude. Assim, a temperatura efetiva é a temperatura dessa região emissora enquanto os níveis inferiores da atmosfera podem apresentar temperaturas bem mais altas.

Podemos agora entender o que acontece em Vênus e na Terra. Vênus é o planeta que exhibe a maior diferença entre a temperatura efetiva e a temperatura de superfície e é também o planeta que possui a atmosfera mais substancial. Apesar de Vênus estar mais longe do Sol do que Mercúrio, a sua temperatura é consideravelmente maior que a de Mercúrio. Isso pode ser compreendido a partir de dois fatores principais: a atmosfera massiva de Vênus (pressão atmosférica cerca de 92 vezes a terrestre) e a elevada concentração de dióxido de carbono (96%) que é um gás de efeito estufa. Existe, assim, um altíssimo efeito estufa em Vênus. Em Mercúrio a atmosfera é quase inexistente e, portanto, praticamente não possui efeito estufa. Em Marte temos temperaturas muito frias em boa medida devido a sua distância do Sol, contudo, pode-se perceber que em Marte não temos a situação de efeito estufa elevado de Vênus. Isso ocorre porque, embora Marte possua uma alta concentração de dióxido de carbono (95%), o fato de ele possuir uma atmosfera muito tênue (pressão atmosférica de 1/200 da atmosfera terrestre), implica uma baixa concentração de gases de efeito estufa, resultando em pouca capacidade de absorção de radiação infravermelha emitida pela superfície do planeta.

Olhando para a Terra, é algo surpreendente que as características físicas e químicas da atmosfera terrestre sejam tão distintas das de seus vizinhos Marte e Vênus. Podemos ver que a concentração de gases atmosféricos é dominada por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). Entre os demais gases estão o argônio (0,9%) e gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (0,04%). Embora possa parecer uma concentração baixa, o dióxido de carbono junto com outros gases de efeito estufa como o vapor d'água, metano e óxido nitroso, são responsáveis por elevar a temperatura da Terra em cerca de 33 °C acima da temperatura efetiva. Astrofísicos costumam fazer alusão a popular história da menina dos cachinhos dourados, observando que Vênus é muito quente, Marte é muito frio e a Terra possui a temperatura ideal proporcionada pela mistura adequada de gases atmosféricos. A lição que

Texto de apoio



JUSTIÇA CLIMÁTICA

E PLANOS DE PROTEÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA
NAS REDES ESCOLARES E ESCOLAS

Módulo 1 | Dia 1 | Fundamentos do Clima

Prof. **Alexandre Luis Junges** (alexandre.junges@ufrgs.br)

podemos tirar disso é de que as temperaturas de superfície dos planetas não dependem apenas da sua distância ao Sol e/ou da radiação solar incidente, mas também da presença de um efeito estufa regulado pela presença e composição química da atmosfera.

Referências:

Barry, R. & Chorley, R. (2013). *Atmosfera, Tempo e Clima*. Porto Alegre: Bookman.

Christopherson, R. (2012). *Geossistemas: uma introdução a geografia física*. Porto Alegre: Bookman.

Goody, R. & Walker, J. (1996). *Atmosferas planetárias*. São Paulo: Edgard Blucher.

Lockwood, M. (2010). Solar change and climate: an update in the light of the current exceptional solar minimum. *Proceedings Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences*, 466(2114), 303–329.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2009.0519>

Miller, T. (2015). *Ciência ambiental*. São Paulo: Cengage Learning.

Pierrehumbert, R. (2011). Infrared radiation and planetary temperature. *Physics Today*.
<https://doi.org/10.1063/1.3541943>.