

TP1: Recurso Solar

Energias Renováveis

ENTREGAS: Trabalhos realizados a pares. Os relatórios (Word ou PDF) e notebook (.ipynb) devem ser submetidos através do Moodle e o nome dos ficheiros deve ser “TP1 — (n.º aluno 1), (n.º aluno 2)”. **Caso só seja submetido um dos elementos (o notebook ou o relatório), a nota atribuída será 0.** Neste trabalho, devem submeter também o ficheiro .csv obtido do PVGIS.

RELATÓRIOS: O relatório deve estar organizado com o número e resposta a cada questão. Não é necessário introdução, conclusão, etc. — discutir os resultados dentro das próprias perguntas. **É necessário apresentar todos os passos no relatório — pressupostos, fórmulas (identificando cada elemento), metodologias, resultados, gráficos e análise de resultados (comentários).** Não é necessário incluir tabelas. **A apresentação/organização do relatório corresponde a 1 valor da nota do trabalho.**

NÃO ESQUECER: Apresentar unidades dos resultados. Incluir títulos dos eixos dos gráficos, e legenda quando necessário.

EXERCÍCIOS

Calcular para o **dia de hoje** no Campo Grande (em Lisboa), considerando que existem as condições requeridas pela aproximação de Hottel:

1.

- o dia juliano (n.º de dias desde o início do ano).
- a irradiância num plano perpendicular aos raios do sol no topo da atmosfera.
- a declinação solar.
- o desfasamento, em minutos, entre a hora legal e a hora solar para a localização da FCUL.

2. A altura solar e o azimute solar em todas as horas (hora solar).

- Apresentar um gráfico para cada um.
- A que horas são o nascer e o por do sol?
- Comparar resultados com os provenientes do pvlib. A que se deve o ligeiro desfasamento temporal na altura solar?

3. A irradiância numa superfície horizontal em todas as horas (hora solar). Usar a aproximação de Hottel (ver anexos). Apresentar os valores num gráfico.

a) Porque é que há períodos por volta do nascer e pôr do sol em que a irradiância difusa é superior à direta?

4. A irradiância numa superfície orientada a sul e inclinação de 30° em todas as horas (hora solar). Utilizar o modelo isotrópico para estimar a irradiância difusa na superfície inclinada. Apresentar os valores num gráfico.

5. Apresentar, num gráfico, a irradiância direta, indireta e total para as duas questões anteriores. Comentar. Qual das duas superfícies recebe mais irradiância direta, difusa e total? Porquê?

6. A insolação diária nas superfícies das questões 3 e 4. Qual das superfícies recebe uma maior insolação, e porquê?

7. Comparar os resultados obtidos nas questões 4 e 6 com a estimativa do PVGIS para o mesmo local, e:

a) para o perfil médio mensal de irradiância. Obtém este perfil através do site. Apresenta gráficos lado a lado a comparar cada componente da irradiância (direta, difusa, e total) entre os teus cálculos e os dados do PVGIS. Comenta os resultados.

b) para o perfil diário de irradiância. Obtém este perfil através do `pvlib`. Apresenta gráficos lado a lado a comparar cada componente da irradiância (direta, difusa, e total) entre os teus cálculos, o perfil médio mensal do PVGIS e o perfil diário do PVGIS. Comenta os resultados.

ANÁLISE DE GRÁFICOS

No notebook, podes observar 3 gráficos diferentes, construídos com o `pvlib`. Analisa e comenta cada um deles:

8. A altura solar ao longo do dia nos solstícios e equinócios para a nossa latitude.

a) O que observas relativamente à altura solar máxima e às horas de nascer e pôr do sol?

b) Porque é que os dois equinócios não apresentam percursos solares exatamente iguais?

9. A altura solar ao longo do dia nos solstícios e equinócios para diversas latitudes.

a) O que observas no Pólo Norte?

b) O que é especial sobre as horas de nascer e pôr do sol nos equinócios?

c) Onde é que a altura solar é máxima durante o solstício de verão? Porquê?

10. A irradiação total diária de céu limpo ao longo do ano para diversas latitudes.

- a) Qual a latitude com maior irradiação total anual?
 - b) Qual a latitude com maior irradiação durante o mês de junho?
 - c) Qual é o efeito da latitude na variabilidade sazonal da irradiação?
-

BÓNUS

Para até dois valores extra, constrói um gráfico diferente dos anteriores que mostre algo interessante relacionado com recurso solar, e explica o que ele demonstra. Utiliza os valores calculados nas questões anteriores, ou faz os teus próprios cálculos — não uses valores arbitrários.

FORMULÁRIO

Irradiância no topo da atmosfera:

$$I_0 = I_{sc} \left(1 + 0.0334 \cos \left(2\pi \frac{J - 3}{365.35} \right) \right) \quad (1)$$

onde $I_{sc} = 1366 \text{ W/m}^2$ é a constante solar e J é o dia juliano.

Declinação solar:

$$\delta = 23.45 \sin \left(2\pi \frac{284 + J}{365} \right) \quad (2)$$

Equação do tempo:

$$t_{EoT} = \frac{9.87 \sin(4\pi J') - 7.53 \cos(2\pi J') - 1.5 \sin(2\pi J')}{60} \quad (3)$$

$$J' = \frac{J - 81}{364} \quad (4)$$

Hora local e hora solar:

$$t_{local} = t_{solar} + (\lambda_{fuso} - \lambda) \frac{12}{180} + t_{EoT} + t_{save} \quad (5)$$

com λ a longitude e λ_{fuso} a longitude do meridiano que define o fuso horário.

Altura solar α e azimute ψ :

$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (6)$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \quad (7)$$

com ϕ a latitude, δ a declinação solar, e ω o ângulo hora solar.

Ângulo de incidência θ dos raios solares numa qualquer superfície com inclinação β e azimute γ :

$$\cos \theta = \cos \alpha \cos(\gamma - \psi) \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta \quad (8)$$

Insolação sobre uma superfície num determinado período de tempo:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt \quad (9)$$

onde $I(t)$ é a irradiância instantânea. Utilizando dados discretos, isto pode ser aproximado a um somatório:

$$E = \sum_{t=t_1}^{t_2} I(t) \times \Delta t \quad (10)$$

A aproximação de Hottel permite estimar, para condições de céu limpo (atmosfera com 23 km de visibilidade), a irradiância solar direta normal e difusa.

Para uma superfície normal aos raios solares, a irradiância direta é dada por (11). Para qualquer outra superfície, é dado por (12), sendo que no caso particular de uma superfície horizontal podemos simplificar para (13). Nota: o b em índice significa *beam* (raio).

$$I_{b,n} = \tau_b I_0 \quad (11)$$

$$I_{b,s} = I_{b,n} \cos \theta \quad (12)$$

$$I_{b,h} = I_{b,n} \sin \alpha \quad (13)$$

A irradiância difusa, é dada por (14) para uma superfície horizontal.

$$I_{d,h} = \tau_d I_0 \sin \alpha \quad (14)$$

Para uma superfície inclinada, estimar a radiação difusa é mais complexo, uma vez que a superfície, não estando exposta à totalidade da cúpula celeste, irá captar apenas uma fração da radiação difusa disponível. Na realidade, a intensidade da radiação difusa varia com a direção. No entanto, um dos modelos mais simples para estimar a radiação difusa é o modelo isotrópico, que assume exatamente o contrário: que a radiação difusa é uniforme em todas as direções. Sob esse pressuposto, a irradiância difusa sobre uma superfície depende apenas da fração da cúpula celeste visível por esta superfície — e é dada por (15).

$$I_{d,s} = \tau_d I_0 \sin \alpha \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (15)$$

com α a altura solar, I_0 a irradiância no topo da atmosfera e as constantes do modelo estimadas por:

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-k/\sin \alpha} \quad (16)$$

$$\tau_d = 0.271 - 0.2939\tau_b \quad (17)$$

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2 \quad (18)$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \quad (19)$$

$$k = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \quad (20)$$

com A a altitude relativa ao nível do mar expressa em km.
