



Instituto de Ciências da Terra
Institute of Earth Sciences



Determinação do Ano médio de Radiação Solar e do Ano Meteorológico Típico para a região do Funchal na ilha da Madeira

Edgar F.M. Abreu⁽¹⁾; P. Canhoto^(2,3); Victor M.M. Prior⁽⁴⁾; R. Melício^(2,5)

⁽¹⁾ Universidade de Évora, Évora, Portugal

⁽²⁾ Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, Portugal

⁽³⁾ Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora, Évora, Portugal

⁽⁴⁾ Observatório Meteorológico do Funchal, Instituto Português do Mar e da Atmosfera – IPMA, Funchal, Portugal

⁽⁵⁾ IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

Índice

1. Introdução;
2. Filtros de dados e correções aplicadas à radiação solar;
3. Ano médio de radiação solar global e radiação difusa;
4. Ano meteorológico típico (AMT);
5. Conclusões.

1. Introdução

- Período de medições: 2004-2014 (11 anos);
- Grandezas analisadas (valores médios horários e extremos diários):
 - Radiação solar global numa superfície horizontal;
 - Radiação difusa numa superfície horizontal;
 - Temperatura do ar;
 - Humidade relativa do ar;
 - Intensidade do vento.



Localização da região do Funchal na ilha da Madeira

2. Filtros de dados e correções aplicadas à radiação solar

Filtros de qualidade utilizados nas estações da BSRN – Baseline Surface Radiation Network

Grandeza	Valor mínimo	Valor máximo	Restrição
Radiação solar global: valores fisicamente possíveis	- 4 W/m ²	$S_a \times 1.5 \times \mu_0^{1.2} + 100 \text{ W/m}^2$	-
Radiação solar global: valores extremamente raros	- 2 W/m ²	$S_a \times 1.2 \times \mu_0^{1.2} + 50 \text{ W/m}^2$	-
Relação entre a radiação solar global e a radiação difusa	-	1.05	$\Phi < 75^\circ$ e Global > 50 W/m ²
	-	1.10	$75^\circ < \Phi < 93^\circ$ e Global > 50 W/m ²

$$S_a = S_0 \cdot d;$$

$$S_0 = 1366 \text{ W/m}^2;$$

d – Fator de variação da constante solar com o dia do ano;

Φ – Ângulo solar zenital;

$$\mu_0 = \cos(\Phi).$$

2. Filtros de dados e correções aplicadas à radiação solar

Correção da radiação difusa no plano horizontal devido à banda de sombreamento do piranómetro

$$X = \frac{2b}{\pi r} \cos^3(\delta) \left[\left(\frac{\pi}{180} \psi_s \right) \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \sin(\psi_s) \right]$$

X – fração de radiação difusa bloqueada pela banda em condições isotrópicas;

b – largura da banda de sombreamento (Eppley: $b = 7.6$ cm);

r – raio de curvatura da banda de sombreamento (Eppley: $r = 31.7$ cm);

ψ_s – ângulo de azimute de nascer do sol;

L – latitude;

δ – declinação solar.

2. Filtros de dados e correções aplicadas à radiação solar

Correção aplicada às medições de radiação difusa em condições isotrópicas

$$K' = \frac{1}{1 - X}$$

Correção aplicada às medições de radiação difusa em condições não isotrópicas

Condição do céu	K_d
Céu limpo	$K' + 0.07$
Céu nublado	$K' + 0.04$
Céu parcialmente nublado	$K' + 0.03$

Foi utilizada a expressão para céu parcialmente nublado, recomendada pelo fabricante.

3. Ano médio de radiação solar global e radiação difusa

- 8760 horas de valores médios de radiação solar global e de radiação difusa;
- Média de todas as medições que pertencem ao mesmo par hora/dia do ano;
- Média horária móvel centrada de 5 dias;
- Sem preenchimento de lacunas nos dados.

$$\bar{X}_{(i,j)} = \sum_{k=1}^P (X_{(i,j,k)})/P$$

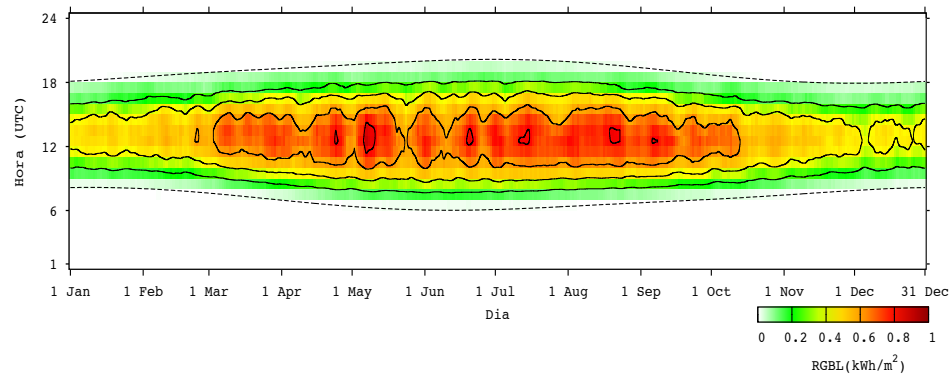
i – hora do dia;

j – dia do ano;

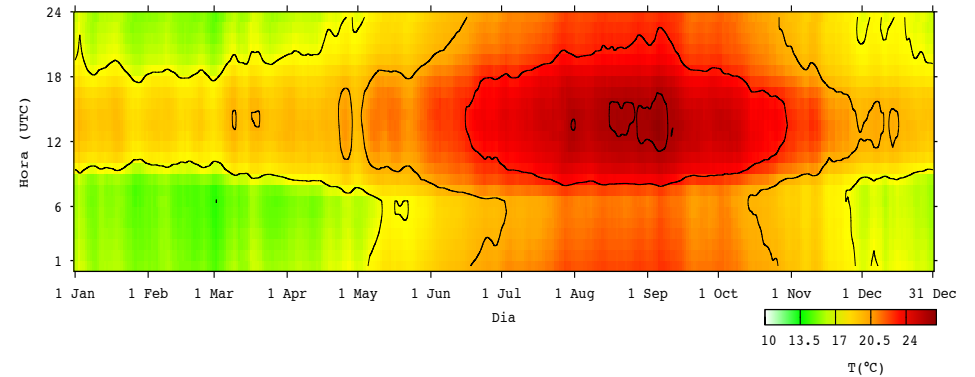
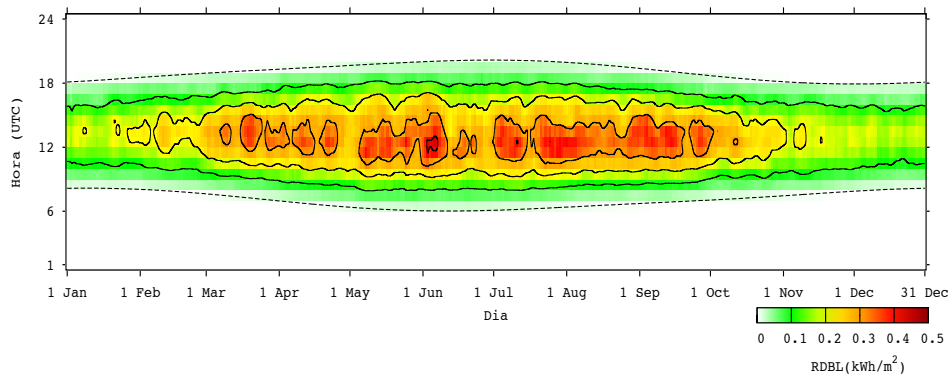
k – ano da série de dados;

P – número de pares utilizados.

3. Ano médio de radiação solar global e radiação difusa



Ano médio de radiação solar global para a estação do Observatório no Funchal



Ano médio de temperatura média do ar para a estação do Observatório no Funchal

Ano médio de radiação difusa para a estação do Observatório no Funchal

4. Ano meteorológico típico (AMT)

- Método de Sandia;
- Função cumulativa distributiva ($S_n(x)$);
- Estatística de Finkelstein-Schafer (FS);
- Soma ponderada (WS);
- Raiz quadrada da diferença média ($RMSD$).

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < x_{(1)} \\ \frac{c - 0.5}{n} & \text{for } x_{(k)} \leq x \leq x_{(k+1)} \\ 1 & \text{for } x \geq x_{(k)} \end{cases}$$

$$FS = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n D_p$$

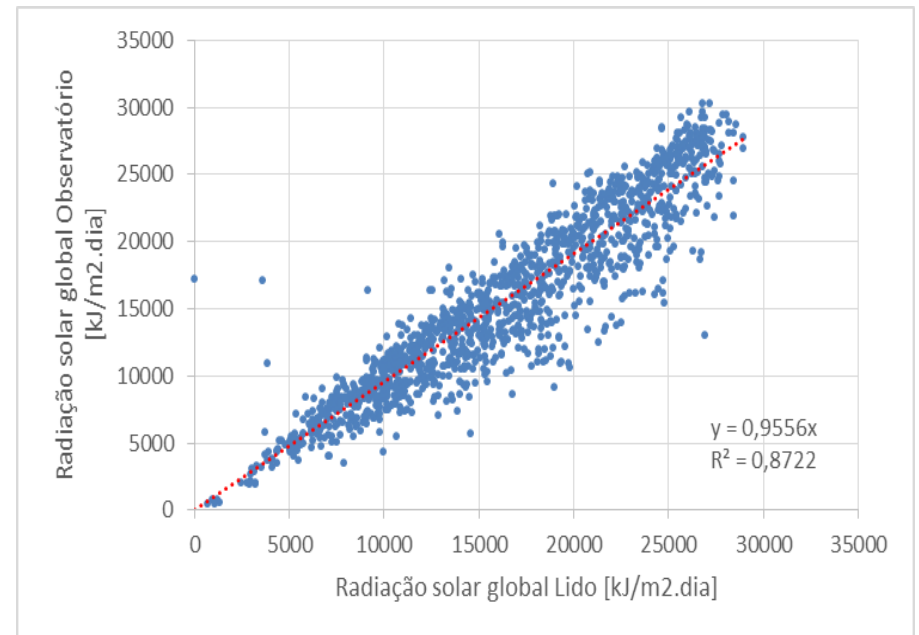
$$WS = \sum_{k=1}^9 w_k * FS_k$$

$$RMSD = \left(\frac{1}{m} \sum_{a=1}^m d_a^2 \right)^{1/2}$$

4. Ano meteorológico típico (AMT)

Preenchimento de lacunas nas séries de dados:

- Interpolação linear de valores horários;
 - Lacunas inferiores a 2 horas consecutivas.
- Correlação com estações vizinhas.
 - Lacunas superiores a 2 horas consecutivas.

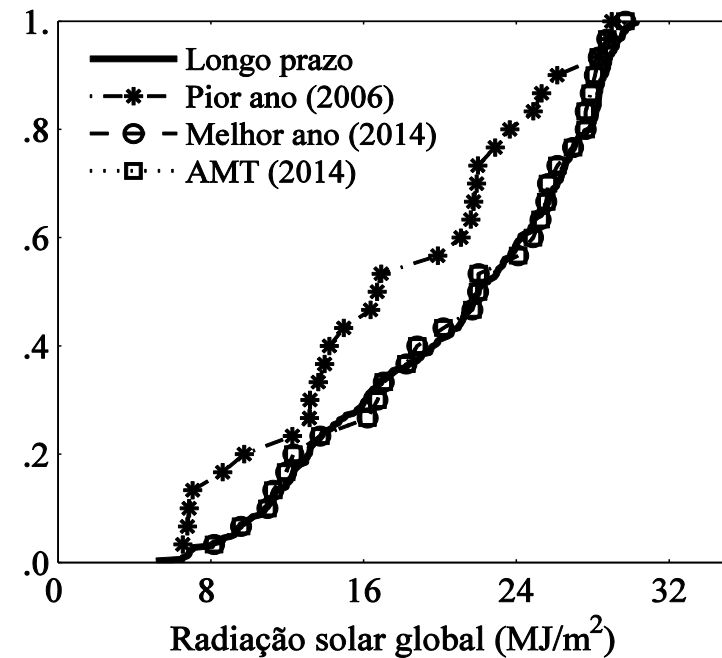


Correlação da radiação solar global entre a estação do Observatório e a estação do Lido

4. Ano meteorológico típico (AMT)

Peso estatístico de cada grandeza meteorológica

Grandeza meteorológica	Peso estatístico (w)
Temperatura média do ar	2/24
Temperatura máxima do ar	1/24
Temperatura mínima do ar	1/24
Humidade relativa média	2/24
Humidade relativa máxima	1/24
Humidade relativa mínima	1/24
Intensidade média do vento	2/24
Intensidade máxima do vento	2/24
Radiação solar global	12/24



Comparação das funções cumulativas distributivas para o mês de Junho

4. Ano meteorológico típico (AMT)

Valores de RMSD para a estação do Observatório no Funchal

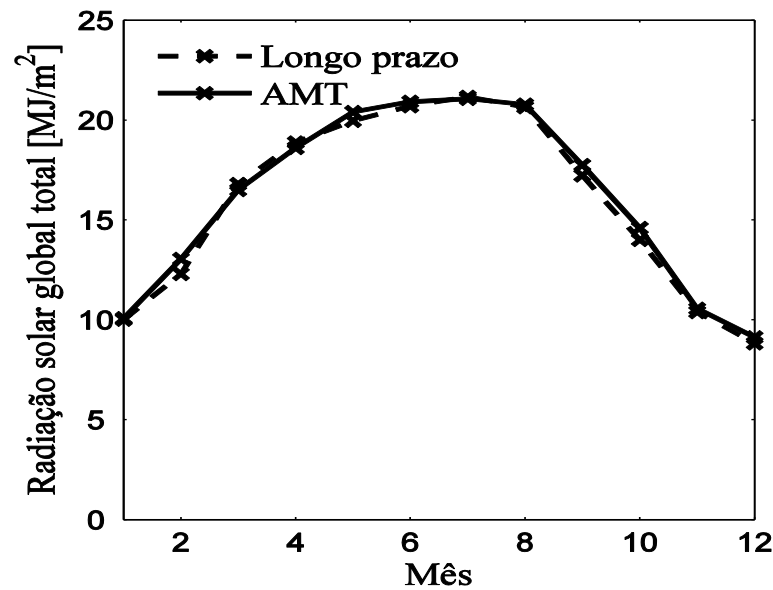
Ano/Mês	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	0.038	0.070	-	0.045	-	0.040	-	0.034	-	-	-
Fevereiro	-	-	0.143	-	0.068	0.117	-	0.194	-	-	0.109
Março	-	0.074	0.133	0.057	0.108	-	-	-	-	-	0.131
Abril	-	-	0.053	0.077	-	0.132	0.045	0.070	-	-	-
Mai	-	-	0.066	0.062	-	0.062	0.069	-	0.151	-	-
Junho	-	0.117	-	0.060	0.082	0.138	-	-	-	-	0.046
Julho	-	0.196	0.138	-	-	0.053	-	0.146	0.111	-	-
Agosto	-	0.116	0.107	-	-	-	0.135	0.053	0.082	-	-
Setembro	-	0.079	-	-	0.064	0.090	-	0.063	0.090	-	-
Outubro	-	-	0.078	-	-	0.101	0.121	-	0.118	-	0.087
Novembro	-	-	0.043	-	-	0.048	-	0.091	0.073	-	0.074
Dezembro	0.068	-	-	0.055	0.039	-	-	-	-	0.032	0.042

Anos escolhidos para o AMT para a estação do Observatório no Funchal

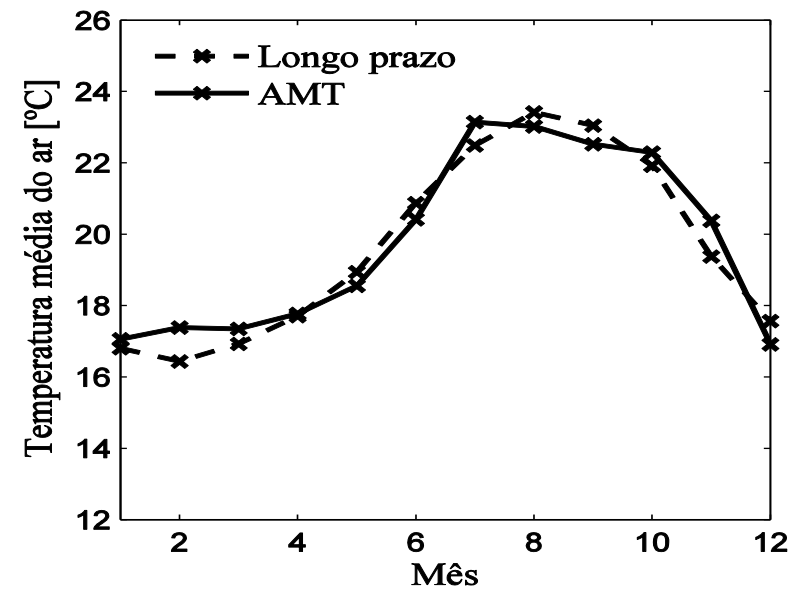
Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2004	2008	2007	2006	2009	2014	2009	2011	2008	2006	2009	2014

4. Ano meteorológico típico (AMT)

Validação do ano meteorológico típico



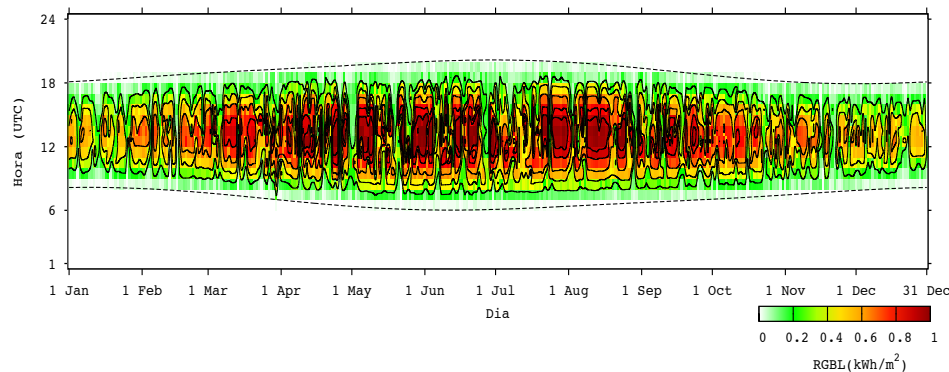
Comparação entre as médias de longo prazo e do ano meteorológico típico para a radiação solar global



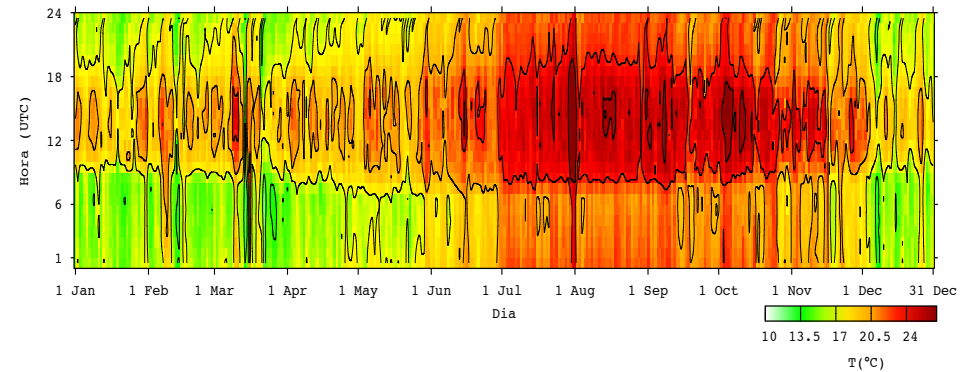
Comparação entre as médias de longo prazo e do ano meteorológico típico para a temperatura média do ar

4. Ano meteorológico típico (AMT)

- Construção do AMT através da junção dos valores médios dos meses selecionados;
- Suavização da transição entre meses através de uma média centrada móvel nas seis horas finais de cada mês e nas seis horas iniciais do mês seguinte.



Radiação solar global do AMT para a estação do Observatório no Funchal



Temperatura média do ar do AMT para a estação do Observatório no Funchal

4. Ano meteorológico típico (AMT)

- Simulação de sistemas de energia solar – Sistema fotovoltaico
 - A eficiência dos módulos depende da radiação solar incidente e da temperatura das células;
 - A temperatura das células fotovoltaicas depende da radiação solar, temperatura do ar e intensidade do vento;
 - Vantagem do AMT: Estudo do comportamento de sistemas de acordo com variações horárias.

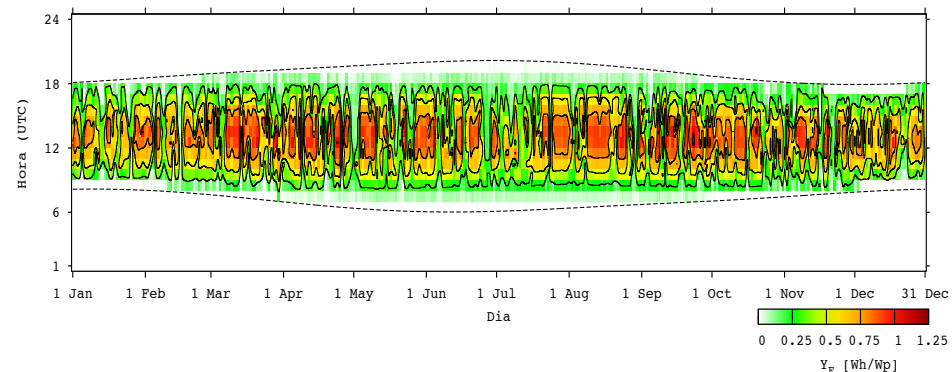
Exemplo de um sistema fotovoltaico na região do Funchal, Madeira:

Fator de produção

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_p}$$

E_{AC} – Energia produzida [Wh]

P_p – Potência de Pico [W]



Fator de produção, Y_F , para a estação do Observatório (Total anual: 1672.1 h).

5. Conclusões

- Aplicação dos filtros de qualidade utilizados nas estações da rede BSRN;
- Correção da radiação difusa numa superfície horizontal;
- Preenchimento de lacunas nos dados meteorológicos;
- Determinação do ano médio de radiação solar;
- Determinação do ano meteorológico típico (AMT);
- Validação do AMT - Valores próximos entre as médias de longo prazo e as médias do ano meteorológico típico.
- Simulação de sistemas de energia solar.

Agradecimentos

Os autores expressam o seu agradecimento ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera pela cedência das medições das diferentes grandezas meteorológicas analisadas neste trabalho.

Este trabalho é cofinanciado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, incluído no COMPETE 2020 (Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização) através do projeto do ICT (UID / GEO / 04683 / 2013) com a referência POCI-01-0145-FEDER- 007690 e ALENTEJO 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo) através do projeto ALOP com a referência ALT20-03-0145-FEDER-000004.

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional