



RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ANUAL

PORTUGAL CONTINENTAL

2002-2007

Rute Vieira
Jorge Neto
Álvaro Silva

Lisboa
Dezembro 2008



RESUMO

O presente trabalho caracteriza a Radiação Solar Global (RSG) em Portugal Continental. A medição da RSG é efectuada através de piranómetros (Kipp and zonen CM11) colocados a altura de 2 metros nos parques de estações meteorológicas automáticas (EMA).

Foi efectuada uma primeira abordagem aos dados para identificação de falhas, avarias ou existência de obstáculos à captação da radiação solar na sua plenitude, como por exemplo árvores e/ou edifícios a projectar sombra sobre na estação.

Após validação dos dados, faz-se uma descrição da distribuição espaço-temporal da RSG no período 2002-2007 em Portugal Continental recorrendo aos dados de 65 EMA.

INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia, responsável pela manutenção das várias formas de vida existentes na Terra.

A energia proveniente do sol, ao atingir a atmosfera terrestre pode ser absorvida ou reflectida pelos seus diferentes componentes. Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) indicam que a radiação solar incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra-Sol, situada no topo da atmosfera, é de 1367 W/m². A distribuição espectral desta radiação é constituída por radiação na gama dos raios ultra-violetas (7%), luz visível (47%) e raios infra-vermelhos (46%). Após atravessar a atmosfera, num dia de céu relativamente limpo, a radiação solar atinge a superfície terrestre com uma potência inferior em cerca de 30% da registada no topo da mesma, ou seja, aproximadamente, de 1000 W/m². Esta radiação que atinge o solo é constituída por dois componentes: **radiação directa** – atinge directamente a superfície e depende da intensidade da radiação e do azimute e altura do sol. Para o mesmo azimute e para a mesma intensidade de radiação, a quantidade recebida será tanto maior quanto menor for a altura do sol. A intensidade depende da nebulosidade e da posição das nuvens, da turvação da atmosfera e ainda, da altura do sol, na medida em que esta determina a extensão do percurso da radiação da atmosfera **radiação difusa** – radiação absorvida e depois emitida com mesmo comprimento mas em direcções diversas, depende da turvação da atmosfera e da quantidade de nuvens, sendo mínima em dias de céu limpo e de grande transparência do ar, ou ainda,



nos dias de céu encoberto por nuvens muito baixas e espessas; **radiação reflectida** – proveniente da reflexão no solo e objectos circundantes.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, uma quantidade enorme de energia (avaliada em $1,5 \times 10^{18}$ kWh), correspondente a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia verificado nesse mesmo período. No entanto, a captação desta energia, como de qualquer outra fonte, tem vantagens e inconvenientes (DGEG, 2008).

Os principais **inconvenientes** e/ou obstáculos são, a necessidade de grandes áreas de captação para o seu aproveitamento, o investimento exige custos elevados e os períodos de recuperação muito longos, uma atitude de resistência geral às mudanças, entre outras.

As **vantagens** decorrentes do seu uso são o facto de se tratar de uma fonte de energia repartida equitativamente, ajustar-se com a estratégia global de desenvolvimento sustentável, permitir reduzir a dependência da União Europeia das importações de energia e assegurar assim a segurança do aprovisionamento, contribuir para melhorar a competitividade global da indústria europeia e tem efeitos positivos no desenvolvimento regional e na possível criação de novos postos de trabalho.

A União Europeia possui, actualmente, um forte potencial no domínio das energias renováveis, que explora de forma desigual e insuficiente. Este sector representa aproximadamente, 6% do consumo energético interno bruto e poderá representar 7,4 a 9% em 2010.

O **Livro Verde** fixou um objectivo de duplicar, em 15 anos, a contribuição das energias renováveis para o consumo energético interno bruto (ou seja, 12% em 2010), o que permitiria a criação líquida de mais de 500 000 postos de trabalho para a Europa.

A dependência energética externa de Portugal, em 2005, era de 86%, representando 3.7% do PIB. Pontos fortes para apostar, cada vez mais, nas energias endógenas como são o caso das energias renováveis e de entre estas a **energia solar**.

Em **Portugal**, o potencial disponível é bastante considerável, sendo um dos países da Europa com melhores condições para aproveitamento deste recurso, dispondo de um número médio anual de horas de Sol, variável entre 1800 e 3100 horas¹, no continente.

O Instituto de Meteorologia (IM) tem vindo, nos últimos anos, a alargar a rede (EMA) e consequentemente a aumentar os pontos de observação da radiação solar global (fluxo de energia solar total descendente, ou seja, radiação solar directa mais radiação solar difusa descendente) cujos resultados integrados horariamente são recolhidos de forma automática em concentradores de dados. Estes dados são posteriormente processados e validados.

¹ Dados Instituto de Meteorologia

Pretende-se, através do presente estudo, representar espacialmente o resultado de 5 anos de observações – 2002-2007 – registados na rede EMA do território de Portugal Continental. Numa segunda parte serão apresentados mapas que representem a RSG das diferentes estações do ano, ou seja, Primavera, Verão, Outono e Inverno para desta forma analisar os extremos.

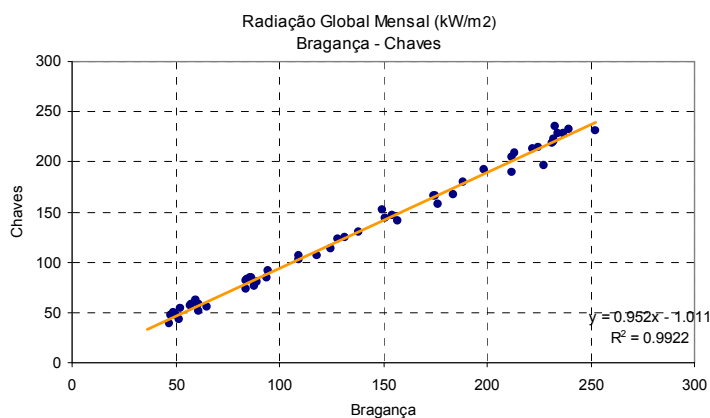
METODOLOGIA

Reconstituição dos dados

Numa primeira fase foram identificadas as estações com falhas de funcionamento e subsequente rejeição das mesmas.

Posteriormente foram identificadas e colmatadas falhas em algumas das estações através da regressão linear entre pares de valores da radiação global da EMA em causa e de outras EMA localizadas o mais próximo possível e com características climatológicas semelhantes. As falhas colmatadas reportaram-se meses em que os números de falhas eram superiores a 15 dias.

A figura seguinte representa um exemplo onde se pode ver uma com a estação mais próxima da estação que apresentava a falha e se a regressão fosse significativa >85%, a falha era colmatada com o valor da estação em funcionamento.



Utilizando os valores mensais obtidos de 2002 a 2007 em cada uma das EMA consideradas, foram calculados os valores médios da radiação global em cada mês, os quais foram somados para obter o valor médio anual da radiação global, no período de 2002 a 2007.

A RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA GLOBAL NO PERÍODO 2002-2007 EM PORTUGAL CONTINENTAL

O estudo da radiação solar global de Portugal Continental, no período de 2002-2007, inclui os resultados das medições de 65 estações meteorológicas automáticas da rede nacional as quais se encontram identificadas na Figura 1.

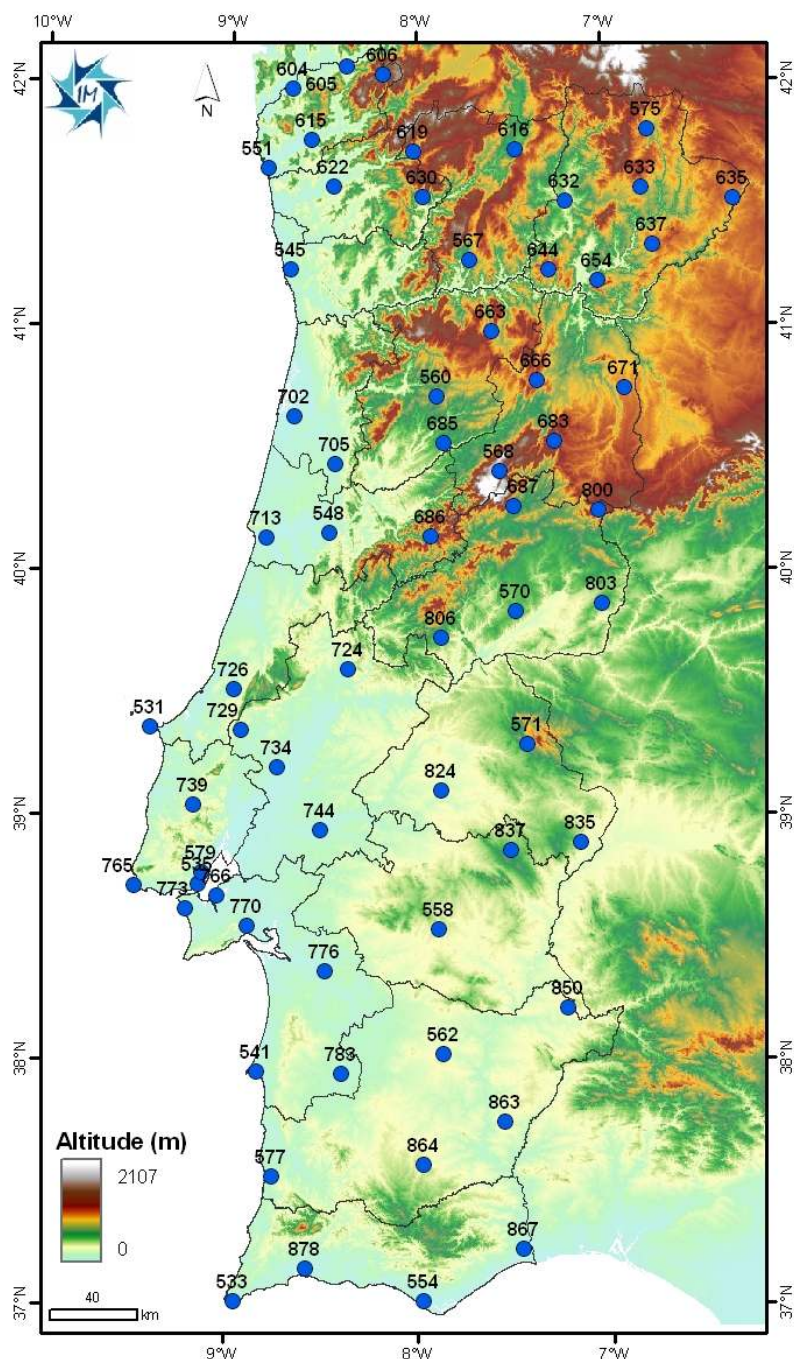


Figura 1 – Localização das estações meteorológicas utilizadas no estudo

Em análise à Figura 2, a qual representa a Radiação Solar Global para o período 2002-2007, verificamos que os valores variam entre os 1440 kw.h/m², registados na região do Minho e os 1950 kw.h/m² registado no litoral sotavento do Algarve.

O valor mais elevado é registado a estação de Castro Marim com um valor de RSG de 1926 kw.h/m² em quanto que a estação de Braga regista o valor mais baixo, nomeadamente 1451 kw.h/m².

Pode-se verificar que existe uma redução da RSG de sul para norte, mais precisamente de NW para SE onde os valores mais elevados se registam a sul do sistema montanhoso Montejunto – Estrela e um aumento da radiação do litoral para o interior.

Globalmente a radiação solar global de Portugal Continental para o período 2002-2007 foi, em média, de 1691.5 kw.h /m².

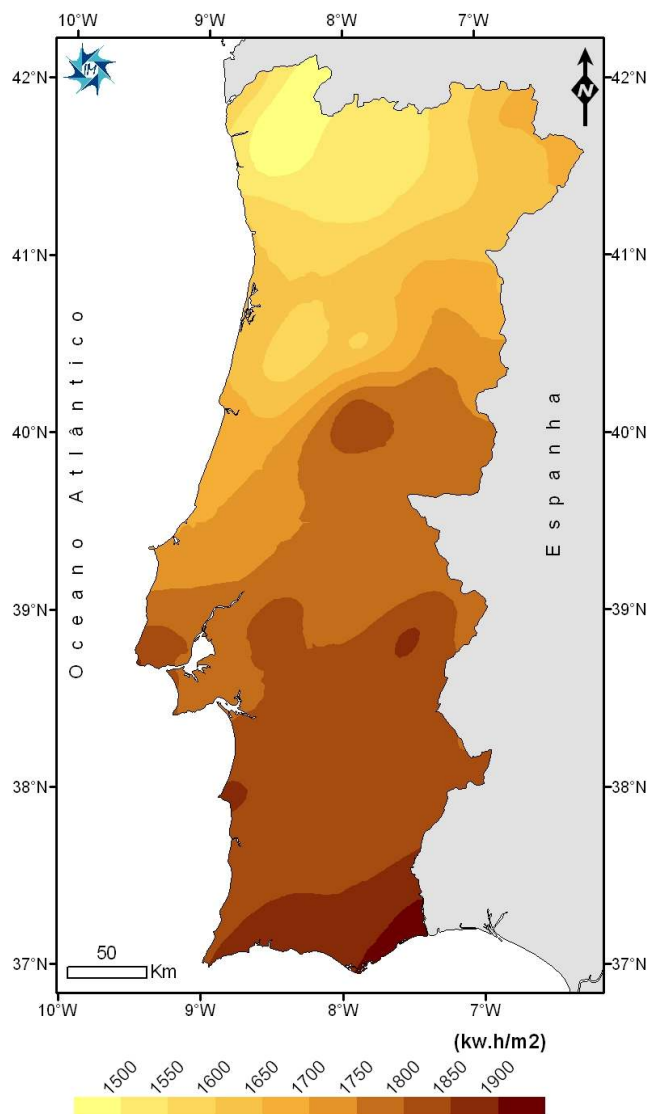


Figura 2 – Radiação Solar Global média total para o período 2002-2007

• Radiação Global Período **Primavera e Verão**

Em análise aos mapas seguintes, os quais representam as estações da Primavera e Verão para o período em estudo, verifica-se que a estação do Verão apresenta uma distribuição geográfica semelhante ao período total estudado e onde os dados da radiação solar global variam entre 675 e os 725 kw.h/m² (Figura 4).

Na estação da Primavera identifica-se uma distribuição uniforme, onde os valores variam entre os 400 e os 575 kw.h/m². (Figura 3).

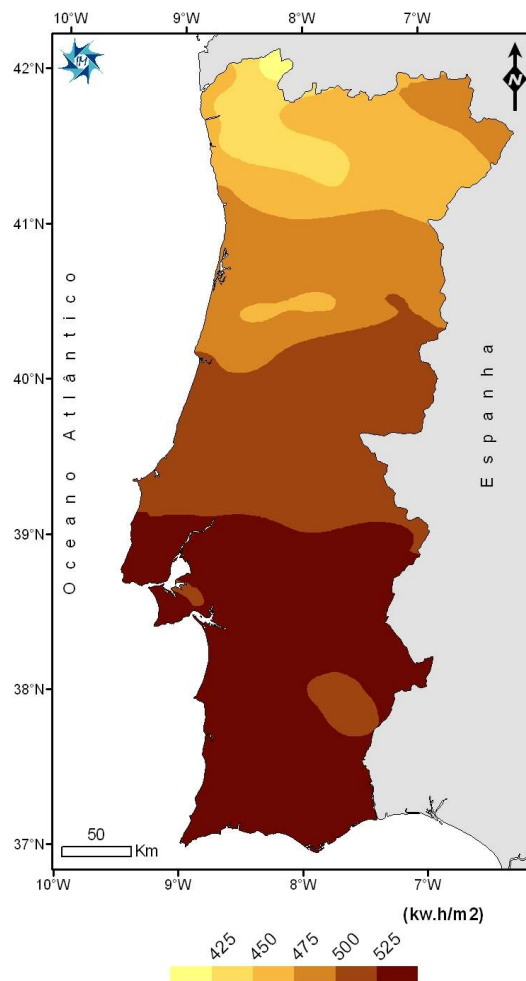


Figura 3 - Radiação Solar Global média total para o período 2002-2007 PRIMAVERA

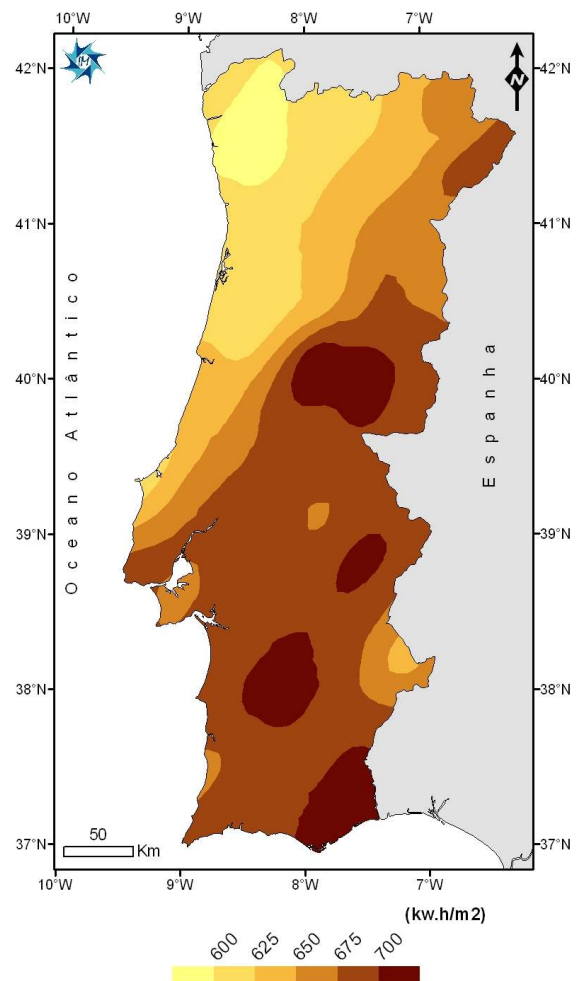


Figura 4 - Radiação Solar Global média total para o período 2002-2007 VERÃO

Não podemos deixar de referir que são estas estações do ano que dão o maior contributo para a radiação solar global anual.

- Radiação Global Período **Outono e Inverno**

Em análise aos seguintes mapas, que representam a estação do Outono e do Inverno, identifica-se que a estação do Inverno é a que representa os valores de radiação

solar global mais reduzidos, os quais variam entre os 160 e os 280 kw.h/m², tal situação pode ser justificada pela maior nebulosidade como redução do número de horas de sol (Figura 6).

A radiação solar global registada na época de Outono regista valores entre os 260 e os 380 kw.h/m².

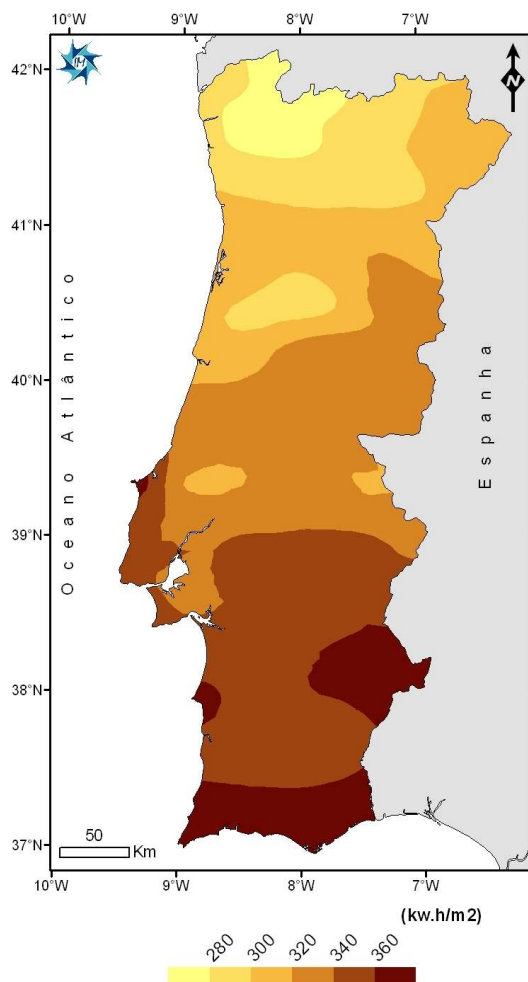


Figura 5 - Radiação Solar Global média total para o período 2002-2007 OUTONO

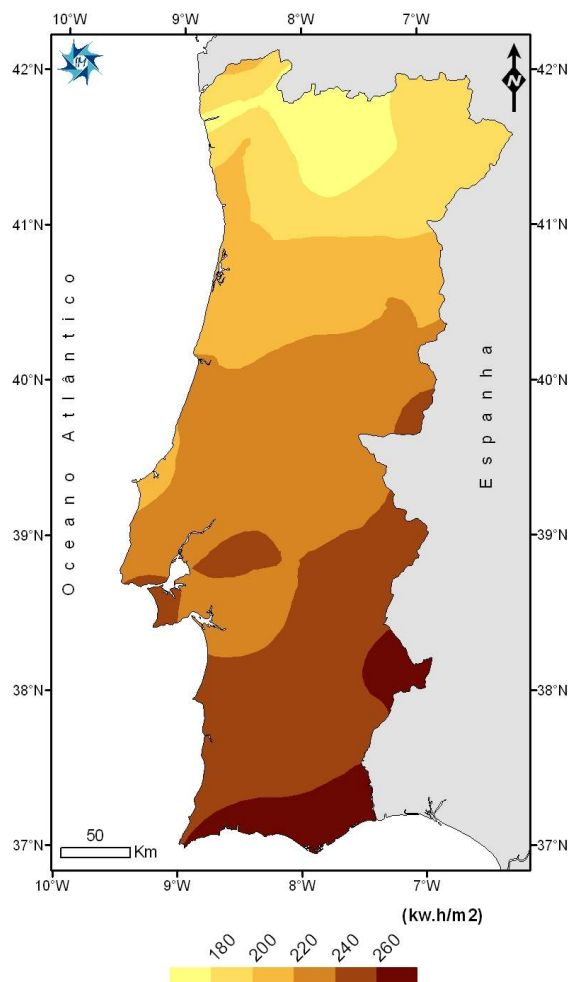


Figura 6 - Radiação Solar Global média total para o período 2002-2007 INVERNO

- Valores médios mensais da Radiação Solar Global (2002-2007).

O quadro seguinte mostra os valores que serviram de base para a construção dos mapas anteriormente apresentados.



Quadro I – Radiação Solar Global. Total mensal e anual.
Valores médios registados no período 2002-2007 (kw.h/m2)

LOCAL	MESES												TOTAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Monção	65	81	111	133	183	202	217	181	134	81	61	59	1509
Lamas de Mouro	60	75	106	127	171	205	213	182	134	77	56	46	1453
Vila Nova Cerveira	61	90	115	159	191	203	224	193	139	92	63	49	1579
Viana do Castelo	52	78	111	159	193	205	216	185	140	87	59	46	1531
Ponte Lima	53	77	104	146	182	196	211	186	138	82	56	45	1476
Cabril/ S. Lourenço	49	73	112	160	198	216	224	180	145	79	54	42	1532
Braga / Merelim	65	82	107	138	178	195	190	166	128	80	65	56	1451
Cabeceira de Bastos	55	79	108	147	189	201	218	187	137	83	57	41	1502
Mirandela	51	83	115	143	193	212	229	197	150	90	57	44	1565
Macedo Cavaleiros	68	84	124	154	190	215	232	201	153	93	61	42	1616
Mogadouro	49	88	116	168	179	231	243	212	156	89	60	50	1641
Moncorvo	49	85	121	160	187	223	232	202	152	90	57	49	1607
Carrazêda Ansiães	57	85	118	154	199	217	233	197	146	86	58	48	1600
Chaves	51	79	111	153	196	217	215	185	144	83	55	44	1533
Bragança	59	91	124	162	208	226	238	207	151	90	63	50	1668
Miranda do Douro	52	84	120	158	205	240	232	206	152	92	61	51	1654
Porto	62	90	121	153	204	206	217	189	144	91	66	53	1597
Vila Real	57	76	108	151	188	217	219	193	143	86	60	41	1539
Viseu	65	94	123	157	207	221	232	184	143	91	67	59	1642
Nelas	67	84	114	151	205	211	219	194	138	93	57	51	1584
Penhas Douradas	66	89	117	154	205	224	243	206	153	94	63	51	1664
Covilhã	73	97	133	170	221	236	248	213	163	98	68	60	1781
Guarda	70	91	127	162	214	231	243	209	154	103	75	60	1738
Moimenta da Beira	58	87	121	160	203	213	232	200	150	97	67	51	1640
Trancoso	59	94	125	157	210	227	241	208	154	99	70	56	1701
Figueira de Castelo Rodrigo	64	92	120	159	199	215	234	198	144	103	69	56	1652
Aveiro	64	91	126	166	209	203	220	196	148	98	67	58	1646
Anadia	62	83	115	157	197	198	211	187	137	92	64	54	1557
Coimbra	70	87	118	160	210	207	221	196	145	95	65	59	1632
Figueira da Foz	68	97	127	165	212	210	224	198	147	101	66	58	1675
Castelo Branco	75	92	130	170	224	249	250	213	159	100	69	62	1793
Sabugal	72	91	125	164	214	235	245	210	163	96	64	58	1735
Zebreira	77	103	134	169	215	228	238	212	155	98	68	64	1761
Pampilhosa da Serra	78	100	133	166	224	243	260	223	166	109	75	65	1842
Proença-a-Nova	77	98	133	167	218	234	246	207	155	101	73	59	1769
Tomar	70	91	129	169	215	226	239	213	152	104	69	61	1739
Alcobaca	70	94	128	167	210	211	229	200	150	108	74	60	1700
Cabo Carvoeiro	67	80	132	177	208	192	212	190	165	114	103	55	1697
Rio Maior	70	97	126	170	222	218	236	205	149	100	64	56	1713
Santarém	66	100	131	171	218	223	245	212	155	105	66	53	1745
Torres Vedras	74	90	135	170	223	219	238	208	152	111	77	69	1765
Cabo Raso	76	95	141	183	233	234	248	217	167	120	75	68	1857
Lisboa / Gago Coutinho	78	93	135	178	227	228	245	215	154	108	76	68	1805
Lisboa / Geofísico	74	103	131	175	219	220	239	211	153	108	75	65	1773
Almada	80	107	140	182	222	224	242	210	156	112	78	67	1817
Barreiro	76	96	128	174	218	218	233	207	154	107	73	68	1752
Setúbal	73	99	132	173	219	226	242	209	154	107	75	65	1774
Alcacer do Sal	72	89	138	177	220	229	245	219	160	114	79	67	1809
Coruche	78	105	139	178	224	227	251	217	159	108	77	64	1828
Portalegre	74	103	129	169	218	230	246	208	152	98	68	62	1757
Estremoz	81	96	144	180	224	239	253	219	165	112	80	72	1866
Elvas	75	101	133	173	219	232	245	211	158	106	73	63	1791
Avis	75	95	131	167	217	224	240	206	153	109	74	62	1753
Évora	77	103	136	173	216	231	248	218	166	110	77	67	1824
Beja	79	100	137	175	211	232	250	218	165	115	81	71	1833
Amareleja	80	116	138	178	213	196	229	211	173	117	77	74	1803
Alvalade	78	102	143	180	213	227	255	226	166	110	79	70	1849
Sines	81	107	141	184	223	228	244	216	165	116	83	73	1862
Odemira	75	98	137	173	215	222	239	207	163	113	81	69	1792
Mértola	83	99	135	176	210	233	248	215	159	118	80	72	1830
Neves Moncorvo	78	103	142	177	216	230	246	217	158	112	78	69	1825
Castro Marim	86	113	150	182	224	242	257	225	168	119	85	74	1926
Sagres	91	100	139	184	221	228	243	212	164	116	82	69	1849
Portimão	84	110	145	185	226	233	248	218	166	120	87	76	1897
Faro	90	105	150	189	220	234	249	218	166	121	83	68	1894



CONCLUSÃO

Da análise dos mapas anteriores verificamos, que em todas estações do ano e para o período anual em análise, se verifica um aumento da radiação à medida que diminui a latitude, ou seja de norte para sul, e um aumento no sentido oeste – leste.

O aumento da radiação no sentido oeste – leste é mais evidente nas estações da Primavera e do Verão enquanto que o aumento da radiação no sentido norte – sul é mais acentuado nas estações do Outono e Inverno.

No mapa da radiação solar global anual verificou-se uma maior variação no sentido oeste - leste na região norte e centro, enquanto que a variação norte – sul é mais evidente na região a sul do sistema montanhoso Montejunto – Estrela.

Como refere Rocha M. S. (1982), a variação no sentido norte – sul deve-se exclusivamente à distribuição da nebulosidade média, se excluirmos o efeito de latitude, e à passagem mais frequente de sistemas frontais no norte do país. Relativamente à variação da radiação no sentido oeste – leste, deve-se em grande parte, a uma maior frequência de nevoeiro e neblinas e, de um modo geral, à nebulosidade média a norte do Cabo Carvoeiro, com maior incidência no litoral.

Constatou-se, como tinha sido verificado em estudo anteriores, que os valores máximos de radiação, em todas as estações, se registaram no litoral algarvio e que os valores mínimos se verificam, nomeadamente nos meses de Primavera e Verão, na região do Minho, enquanto que nos meses de Inverno e Outono esses mínimos se estendem à região transmontana.

BIBLIOGRAFIA

Mata L. A., Marques C. V. (1986) Radiação Global Incidente em Superfícies Orientadas A Sul. :37-57.

Rocha M. S. (1982) Radiação Solar Global em Portugal Continental. Instituto de Meteorologia 5(1-2).

Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) (2008) Energia Solar. [Acedido a 04 de Julho de 2008]

<http://www.dgge.pt/>

<http://solstice.crest.org/>

<http://www.pv.unsw.edu.au/>

<http://www.lboro.ac.uk/departments/el/research/crest/index.html>

<http://www.solarex.com/>

<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

<http://www.eere.energy.gov/solar/>

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/329/description#description

<http://europa.eu/>