

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ANÁLISE DO RECURSO SOLAR DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA A PARTIR DE DISTINTAS REDES DE DADOS METEOROLÓGICOS¹

GIULIANO ARNS RAMPINELLI², JOANA EMILIE DA SILVA³, ARTHUR
MELLO³

¹Aceito para Publicação no 1º Trimestre de 2017.

²Doutor em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.
giuliano.rampinelli@ufsc.br.

³Engenheiro em Energia pela Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.
joana.emilie@grad.ufsc.br, arthurmello28@gmail.com

RESUMO: O Brasil está passando por um processo que envolve regulamentação e incentivos que permitirão a inserção gradual da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica. Devido a essa valorização do setor a relevância do trabalho de análise do recurso solar também se torna visível, sendo essa uma das variáveis que influenciam diretamente na geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos. Tal parâmetro é um importante elemento na obtenção de indicativos para viabilidade de empreendimentos. Este trabalho apresenta uma análise do recurso solar na região sul de Santa Catarina a partir de dados de irradiação solar de estações meteorológicas da rede INMET. O artigo também apresenta resultados obtidos a partir do *software* Radiasol a fim de avaliar uma ferramenta computacional disponível na literatura e uma comparação dos dados obtidos com os dados disponibilizados pelo programa SWERA.

ANALYSIS OF RESOURCE SOLAR IN SOUTH OF SANTA CATARINA FROM DATA OF WEATHER STATIONS

ABSTRACT: Brazil is going through a process that involves a regulatory framework and incentives that will lead to the gradual insertion of the photovoltaic solar energy in the electric mix. The analysis of the solar resource is important to estimate the generation of electricity from photovoltaic systems. This paper presents an analysis of solar resource in southern Santa Catarina from of solar irradiation data from weather stations. The article also presents results obtained from simulation software.

INTRODUÇÃO

É amplamente aceito que a diversificação da matriz elétrica brasileira, assim como em qualquer outro país, é fundamental para suprir a demanda de energia sem grande aumento nos preços e diminuir ao máximo a chance de falhas no suprimento de energia. A regulação do setor elétrico desempenha o importante papel de orientar os investimentos em diferentes fontes de energias em função das necessidades energéticas do país, incentivando o desenvolvimento de mercado para diferentes áreas, como é o caso da energia solar fotovoltaica. Para que esta tecnologia tenha um futuro promissor como fonte de energia, deverá desenvolver-se a partir das experiências realizadas nos países que impulsionaram o mercado fotovoltaico. Os programas de apoio e incentivo criam economias de escala que por consequência reduzem os custos e impulsionam o mercado. Os programas de mercado são desenvolvidos para serem unicamente meios de apoio temporários, mas são decisivos na formação de um mercado estável (RAMPINELLI *et al.*, 2013).

A abundância do recurso solar na Terra aliada com a crescente preocupação referente ao esgotamento das reservas mundiais de petróleo e outros combustíveis fósseis vem contribuindo para a inserção da energia solar na matriz energética de vários países. Além disso, pode-se citar o impacto negativo das fontes não renováveis de energia na emissão de gases de efeito estufa e conseqüentemente sua contribuição para o aquecimento global. Nesse cenário o aproveitamento do recurso solar vem sendo

amplamente difundido, podendo citar o seu uso indireto como, por exemplo, na arquitetura bioclimática, ou direto, onde se enquadram a energia solar térmica e energia solar fotovoltaica (BÜHLER *et. al.*, 2015).

No que se diz respeito a energia solar fotovoltaica, a mesma apresenta um potencial de crescimento significativo para os próximos anos, incentivada por alguns fatores e marcos relevantes como a resolução normativa 482/2012 e sua atualização 687/2015 da ANEEL, que estabelece condições de compensação de energia elétrica para sistemas de minigeração e microgeração distribuída (ANEEL, 2016). O Brasil tem procurado superar as barreiras do desenvolvimento e inserção da energia solar fotovoltaica a partir de conjunto de ações de diversos agentes institucionais no âmbito regulatório, normativo, tributário, de pesquisa e desenvolvimento e de fomento econômico. Tais avanços no cenário energético brasileiro valorizam os estudos de análise do recurso solar e das variáveis que podem o influenciar, como os ângulos de inclinação e azimute do gerador fotovoltaico e a presença de sombreamentos próximos ao local de instalação dos sistemas.

A qualidade da avaliação do recurso solar é um fator que implica riscos para a tomada de decisão sobre a implementação do sistema fotovoltaico. Os dados sobre o recurso influenciam na tomada de decisão sobre o local, a tecnologia aplicada e o design do sistema fotovoltaico a ser instalado. Desta maneira, o monitoramento dos dados solarimétricos com boa precisão e resolução apresenta importância no desenvolvimento e na viabilização de investimentos em projetos de energia solar, pois assim, diminui os riscos para os investidores destes projetos. (IMPERIAL; PEREIRA, 2014).

Além disso, a determinação da produção de energia com as considerações das variáveis estocásticas interanuais da radiação solar é fundamental para traçar estratégias operacionais e para a integração de sistemas fotovoltaicos no sistema interligado nacional – SIN. Em algumas regiões existe a complementaridade da energia solar com a energia hidráulica como por exemplo, na região da Bacia do Rio São Francisco. (TIBA *et al.*, 2014). Este trabalho apresenta uma análise do recurso solar da região Sul de Santa Catarina a partir de dados provenientes de distintas estações meteorológicas e softwares de simulação.

METODOLOGIA

A avaliação do recurso solar da região sul de Santa Catarina consiste na análise e caracterização de dados da rede de estação meteorológica do Instituto de Meteorologia (INMET) e dos dados disponíveis pelo *software* Radasol, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL/UFRGS). Os dados analisados são provenientes das estações meteorológicas da rede INMET das cidades de Araranguá – SC (-28°56'05" N , -49° 29' 09" L), Florianópolis – SC (-27° 35' 48" N , -48° 32' 57" L), Laguna/Santa Marta – SC (28°28'57" N , -48°46'51" L), Urussanga – SC (-28° 31' 04" e -49° 19' 15") e Torres – RS (-29° 20' 07" N , -49° 43' 37" L). Evidentemente, a cidade de Torres/RS está localizada no estado do Rio Grande do Sul na divisa geográfica entre o mesmo e o estado de Santa Catarina. Este trabalho apresenta uma avaliação do recurso solar do Sul de Santa Catarina a partir de distintas redes de dados meteorológicos e a cidade de Torres/RS é utilizada como o limite Sul da zona de estudo em questão.

Os dados de radiação solar (J/m^2) obtidos a partir das estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia (rede INMET) são dados horários que foram tratados para se obterem os dados de irradiação solar diária em média mensal ($kWh/m^2.dia$) para os meses com medições representativas de dados. A análise inicia no mês de julho de 2014 e finaliza no mês de junho de 2015, compreendendo assim o período de um ano. Estes dados estão disponíveis para consulta aberta. O acompanhamento e tratamento dos dados meteorológicos das estações do INMET são práticas permanentes, uma vez que a confiabilidade das informações é proporcional à qualidade e quantidade dos dados e à metodologia empregada no processamento. Os dados de irradiação solar obtidos pelo *software* Radasol representam a média diária mensal da irradiação solar ($kWh/m^2.dia$). Estes dados são baseados em valores extraídos do banco de dados *Solar and Wind energy Resource Assessment* – SWERA, sem especificação dos anos de validação dos dados.

SWERA é um programa que disponibiliza dados do recurso solar e do recurso eólico a partir de um grupo de organizações em um mapa iterativo. As informações fornecidas pelo programa são abertas ao público de forma gratuita. O programa possui o

objetivo de apoiar o trabalho dos pesquisadores das áreas de energia solar e eólica. Os dados disponíveis pelo SWERA são provenientes das instituições: *National Renewable Energy Laboratory*, *German Aerospace Center (DLR)*, *Risoe National Laboratory for Sustainable Energy*, *Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE)*, *State University of New York (SUNY)*, *United Nations Environment Programme (UNEP)*, *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *Global Environment Facility (GEF)* e *Riso e DTU*.

Utilizando o *software* Radiasol é possível avaliar a influência da inclinação do gerador fotovoltaico, por exemplo. Os dados de radiação solar das estações meteorológicas da rede INMET são obtidos no plano horizontal e utilizando equações consolidadas na literatura também é possível estimar a radiação solar no plano inclinado desejado. Este trabalho apresenta dados de irradiação solar para os ângulos de inclinação de 0°, 20° e 30°. Tal escolha contempla os valores de irradiação solar horizontal (0°) e o intervalo angular de inclinação, entre 20° e 30°, em que se enquadram as latitudes das cidades analisadas.

Primeiramente, serão dispostos os resultados obtidos de irradiação solar diária média (kWh/m².dia) pelo tratamento e análise dos dados coletados na rede INMET, para cada mês com medições representativas. Os dados foram extraídos para o período compreendido entre o mês de julho de 2014 e o mês de junho de 2015, contemplando um ano de análise para as cinco cidades em estudo: Araranguá, Florianópolis, Laguna/Santa Marta e Urussanga para o estado de Santa Catarina e Torres para o estado de Rio Grande do Sul.

Posteriormente, serão apresentados os dados de irradiação solar diária em média mensal fornecido pelo *software* Radiasol, os quais também foram considerados uma análise para o plano horizontal (inclinações de 0°) e os planos inclinados a 20° e 30° para todos os meses e para as cidades de estudos. Os dados obtidos, são expressos nas suas componentes difusa, direta e global para cada plano inclinado.

Por fim, serão apresentadas comparações entre os dados obtidos pelo tratamento dos dados da rede INMET e os dados fornecidos pelo *software* Radiasol para cada mês de cada cidade em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de irradiação solar diária média mensal para as cidades de Torres (RS), Araranguá (SC), Urussanga (SC), Santa Marta (SC) e Florianópolis (SC) segundo os dados da rede INMET. As medições de irradiação solar para a cidade de Araranguá – SC entre julho de 2014 e novembro de 2014 não foram representativas ou as estações automáticas não registraram dados completos no período. As medições de irradiação solar para a cidade de Torres – RS entre maio de 2015 e junho de 2015 também não se apresentaram representativas. Para as cidades que apresentaram medições representativas para os 12 meses estudados, a Tabela 1 apresenta a média anual da irradiação solar diária. Lembrando que as cidades de Florianópolis/SC e Torres/RS são os limites Norte e Sul, respectivamente, da zona de estudo compreendida neste trabalho. Esta distância é inferior à 300 km.

Tabela 1 – Irradiação Solar Diária Média Mensal (kWh/m².dia) da rede INMET.

Mês	Araranguá - SC	Florianópolis - SC	Santa Marta - SC	Urussanga - SC	Torres - RS
Jan/2015	7,37	6,56	5,19	6,72	6,98
Fev/2015	5,82	6,26	6,48	5,28	6,43
Mar/2015	4,97	5,45	5,45	4,74	5,83
Abr/2015	4,35	4,21	4,29	4,45	4,54
Mai/2015	3,47	3,44	3,68	3,35	///
Jun/2015	3,36	3,59	3,51	3,12	///
Jul/2014	///	4,25	3,29	2,90	3,00
Ago/2014	///	4,87	4,78	4,43	3,92
Set/2014	///	4,19	3,79	3,97	5,15
Out/2014	///	5,35	6,77	6,02	6,07
Nov/2014	///	6,96	6,62	5,45	6,65
Dez/2014	5,53	7,45	6,47	6,04	6,90

Média	///	5,22	5,03	4,71	///
Anual	///				///

A Figura 1 apresenta os dados de irradiação solar diária média mensal (kWh/m² dia) apresentados pela Tabela 1 na forma gráfica de dispersão de dados para todas as cidades em estudo. Percebe-se a pequena variação de dados entre cidades no período entre o mês de fevereiro (2015) e junho (2015). Nos outros meses, com exceção de novembro, apresentaram uma dispersão de dados significativa entre as cidades.

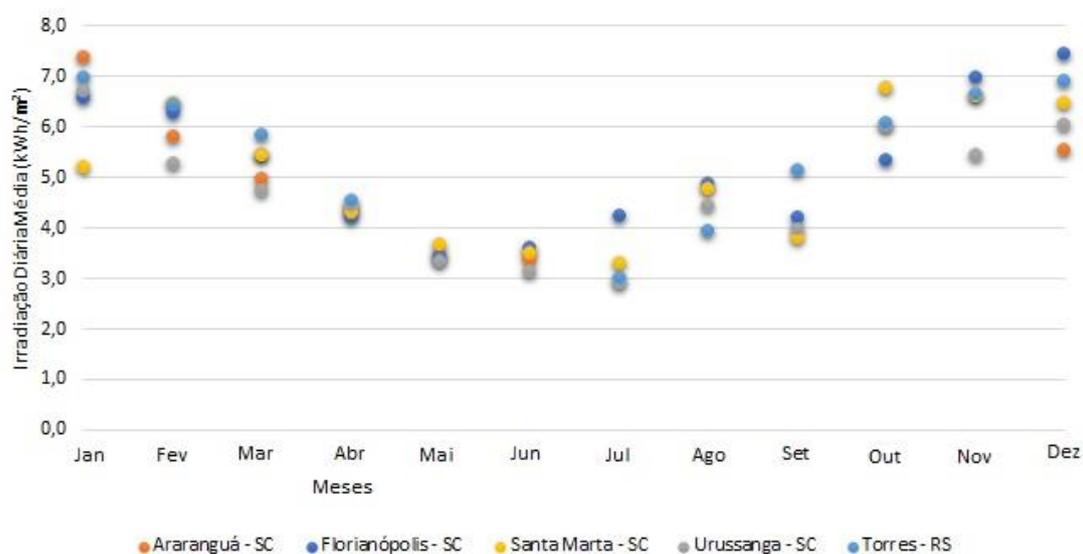


Figura 1 – Dispersão da Irradiação Solar Diária Média Mensal (kWh/m².dia) da rede INMET.

Todas as cidades apresentadas no estudo estão localizadas no hemisfério sul, sendo que os maiores índices de irradiação solar são encontrados nos meses entre novembro e fevereiro, e os menores índices de irradiação solar são encontrados nos meses entre abril e agosto.

A Tabela 2 apresenta as médias para a irradiação solar média diária para cada mês para as cidades em estudo, o desvio padrão relacionado a dispersão de dados e o recurso solar mensal e anual em kWh/m² para uma cidade hipotética localizada na zona de estudo. A partir dos dados das estações do INMET para a zona de estudo, foi obtida uma média para a irradiação solar que seria representada por uma cidade hipotética média dentro da zona de controle, região Sul de Santa Catarina.

Observa-se que o maior desvio padrão se encontra nos meses de verão, como visualizado na Figura 1. A maior dispersão ocorre em janeiro de 2015, 0,83 kWh/ m² dia. O mês de abril de 2015 apresentou a menor dispersão, 0,14 kWh/ m² dia. Para o recurso solar apresentado, o mês de janeiro apresentou o maior recurso, 203,5 kWh/m², e o mês de junho apresentou o menor recurso, 101,9 kWh/m². O recurso anual é de 1830,8 kWh/m² para a cidade hipotética.

Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal e a irradiação solar mensal e anual na região Sul de Santa Catarina a partir da rede INMET.

Mês	Média Diária	Desvio padrão - σ	Quant. De Dias	Irradiação Mensal Média
Jan/2015	6,56	0,83	31	203,5
Fev/2015	6,05	0,50	28	169,5
Mar/2015	5,29	0,43	31	163,9
Abr/2015	4,37	0,13	30	131,0
Mai/2015	3,49	0,14	31	108,0
Jun/2015	3,40	0,21	30	101,9
Jul/2014	3,36	0,62	31	104,2
Ago/2014	4,50	0,43	31	139,5
Set/2014	4,28	0,61	30	128,3
Out/2014	6,05	0,58	31	187,6
Nov/2014	6,42	0,66	30	192,6
Dez/2014	6,48	0,74	31	200,8
Média Mensal	5,02	0,26	Irradiação Anual	1830,8

A análise dos dados do *software* Radasol foi realizada considerando-se a orientação ao norte para três inclinações diferentes com o objetivo de observar a influência da inclinação na disponibilidade de recurso solar e a variação do recurso solar relacionado a latitude.

A Tabela 3 apresenta os dados para Araranguá-SC, que se encontra nas coordenadas geográficas $-28^{\circ}56'05''\text{N}$ e $-49^{\circ} 29' 09'' \text{L}$, os valores apresentados são referentes as componentes direta, difusa e global para os ângulos de inclinação de 0° , 20° e 30° .

Araranguá – SC apresenta, segundo o software Radiasol, a irradiação solar diária média anual de 4,31, 4,72 e 4,79 kWh/m² para os planos inclinados de 0° , 20° e 30° . Quanto ao perfil de irradiação, percebe-se que para os planos inclinados estes apresentam o mesmo padrão de aumento nos meses do verão, enquanto que para a componente direta a variação ao longo do ano é menor que a componente difusa.

Tabela 3 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado para a cidade de Araranguá – SC.

Mês	0° de Inclinação			20° de Inclinação			30° de Inclinação		
	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	2,36	3,13	5,49	2,40	2,94	5,37	2,11	3,01	5,18
Fev	2,39	2,82	5,20	2,42	2,93	5,37	2,29	2,89	5,24
Mar	2,14	2,39	4,52	2,25	2,66	4,94	2,41	2,54	5,00
Abr	2,13	1,87	4,00	2,60	2,08	4,69	2,90	1,99	4,93
Mai	1,75	1,51	3,25	2,45	1,65	4,11	2,52	1,83	4,39
Jun	1,31	1,30	2,61	1,75	1,63	3,39	2,08	1,58	3,70
Jul	1,56	1,42	2,97	2,19	1,64	3,85	2,52	1,62	4,18
Ago	1,71	1,73	3,43	2,24	1,90	4,16	2,54	1,83	4,41
Set	1,83	2,09	3,91	2,02	2,35	4,39	2,03	2,42	4,50
Out	2,50	2,42	4,91	2,49	2,68	5,19	2,29	2,79	5,14
Nov	2,85	2,66	5,50	2,61	2,82	5,45	2,25	3,01	5,33
Dez	2,98	3,00	5,97	2,68	3,06	5,78	2,58	2,81	5,47

A Tabela 4 apresenta os dados para Florianópolis-SC, que se encontra nas coordenadas geográficas $-27^{\circ} 35' 48'' \text{N}$ e $-48^{\circ} 32' 57'' \text{L}$, os valores apresentados são para as componentes direta, difusa e global para os planos com inclinações de 0° , 20° e 30° .

Florianópolis – SC apresenta, segundo o *software* Radiasol, a irradiação solar diária média anual de 4,49, 4,88 e 4,91 kWh/m² para os planos inclinados de 0°, 20° e 30°. Quanto ao perfil das componentes direta e difusa, observou-se que a direta é predominante em todas as inclinações analisadas, exceto para os meses novembro e dezembro com inclinação de 30°.

Tabela 4 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado para a cidade de Florianópolis – SC.

Mês	0° de Inclinação			20° de Inclinação			30° de Inclinação		
	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	3,03	2,94	5,96	2,89	2,86	5,78	2,75	2,64	5,46
Fev	2,76	2,81	5,56	2,88	2,76	5,67	2,87	2,57	5,51
Mar	2,5	2,43	4,92	3,08	2,21	5,32	2,97	2,36	5,38
Abr	2,14	1,91	4,05	2,54	2,19	4,75	2,83	2,05	4,93
Mai	1,71	1,56	3,26	2,27	1,79	4,08	2,53	1,8	4,37
Jun	1,46	1,38	2,83	2,13	1,55	3,69	2,25	1,69	3,98
Jul	1,48	1,42	2,89	2,01	1,67	3,69	2,35	1,62	4,01
Ago	1,73	1,81	3,54	2,34	1,92	4,27	2,38	2,06	4,49
Set	2,02	2,12	4,13	2,4	2,21	4,63	2,28	2,39	4,72
Out	2,34	2,61	4,94	2,59	2,54	5,15	2,54	2,49	5,08
Nov	2,84	2,9	5,73	2,7	2,95	5,67	2,47	2,96	5,49
Dez	3,29	2,87	6,15	3,02	2,82	5,87	2,71	2,75	5,54

A Tabela 5 apresenta os dados para Laguna/Santa Marta - SC, que se encontra nas coordenadas geográficas - 28°28'57" N e - 48°46'51" L, os valores apresentados são referentes as componentes direta, difusa e global para os planos com inclinações de 0°, 20° e 30°.

É possível observar na Tabela 5 que os meses os quais há um aproveitamento maior de irradiação solar global para os três planos inclinado são referentes aos meses de verão. Já a componente direta salienta-se sobre a difusa no período entre maio e agosto em 0° de inclinação. O valor anual médio de irradiação no plano sem inclinação

apresentou o valor de 4,28 kWh/m² e os valores de irradiação direta e difusa 2,15 kWh/m² e 2,13 kWh/m², respectivamente, sendo a componente direta com a maior contribuição.

Outro elemento da análise se refere a mudança dos valores de irradiação com as inclinações de 20° e 30°, sendo que para a inclinação de 20° a média diária anual de irradiação é 4,69 kWh/m² e na inclinação de 30° é em 4,73 kWh/m². É possível observar também que com o aumento da inclinação a componente direta começa a ser superior que a difusa no mês de abril. A Tabela 6 apresenta os dados para Urussanga - SC, que se encontra nas coordenadas geográficas - 28°31'04" N e - 49°19'15" L, os valores apresentados são referentes aos componentes direta, difusa e global para os planos inclinações de 0°, 20° e 30°.

Tabela 5 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado para a cidade de Santa Marta - SC

Mês	0° de Inclinação			20° de Inclinação			30° de Inclinação		
	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	2,50	2,83	5,32	2,41	2,76	5,19	2,09	2,84	4,99
Fev	2,37	2,75	5,11	2,49	2,75	5,26	2,34	2,74	5,14
Mar	2,21	2,22	4,42	2,29	2,52	4,82	2,15	2,68	4,88
Abr	1,93	1,96	3,88	2,60	1,98	4,60	2,65	2,07	4,77
Mai	1,76	1,49	3,25	2,37	1,74	4,12	2,61	1,76	4,41
Jun	1,29	1,32	2,61	1,82	1,58	3,40	2,06	1,60	3,69
Jul	1,62	1,42	3,03	2,33	1,59	3,94	2,52	1,67	4,22
Ago	1,85	1,63	3,47	2,26	1,94	4,21	2,44	1,95	4,43
Set	1,82	2,06	3,88	2,14	2,19	4,34	2,31	2,11	4,47
Out	2,48	2,45	4,92	2,54	2,63	5,19	2,26	2,83	5,15
Nov	2,87	2,63	5,49	2,44	3,01	5,48	2,39	2,79	5,24
Dez	3,15	2,85	5,99	2,80	2,95	5,78	2,61	2,80	5,48

Tabela 6 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado para a cidade de Urussanga - SC

Mês	0° de Inclinação			20° de Inclinação			30° de Inclinação		
	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	2,51	2,92	5,43	2,30	3,02	5,35	1,96	3,14	5,16
Fev	2,62	2,56	5,17	2,63	2,67	5,32	2,34	2,75	5,16
Mar	2,13	2,35	4,47	2,22	2,66	4,90	2,2	2,65	4,91
Abr	2,15	1,81	3,95	2,56	2,09	4,67	2,6	2,18	4,83
Mai	1,86	1,41	3,27	2,46	1,67	4,15	2,73	1,68	4,45
Jun	1,41	1,19	2,6	1,87	1,51	3,39	1,88	1,74	3,64
Jul	1,6	1,44	3,03	2,51	1,44	3,96	2,72	1,51	4,27
Ago	1,85	1,67	3,51	2,35	1,88	4,25	2,46	1,99	4,49
Set	1,7	2,22	3,91	2,11	2,25	4,38	2,2	2,25	4,49
Out	2,32	2,59	4,91	2,52	2,61	5,14	2,45	2,59	5,1
Nov	2,64	2,93	5,56	2,69	2,81	5,53	2,52	2,70	5,29
Dez	3,05	3,02	6,07	2,93	2,85	5,82	2,69	2,75	5,51

Urussanga – SC apresenta, segundo o *software* Radasol, a irradiação diária média anual de 4,32, 4,74 e 4,77 kWh/m² para os planos inclinados de 0°, 20° e 30°. Os valores de irradiação inclinada tiveram seus picos nos meses de dezembro e de janeiro. Percebe-se que com o aumento da inclinação a irradiação global diminui nos meses de verão e aumenta nos meses de inverno, as médias anuais dos planos inclinados se apresentam maiores pois com a inclinação o acréscimo do recurso solar disponível nos meses de inverno compensa o decréscimo do recurso solar disponível nos meses de verão.

A Tabela 7 apresenta os dados para Torres - RS, que se encontra nas coordenadas geográficas - 29° 20' 07" N e -49° 43' 37" L, os valores apresentados são referentes as componentes direta, difusa e global para os planos com inclinações de 0°, 20° e 30°.

Torres –RS apresenta, segundo o *software* Radasol, a irradiação solar diária média anual de 4,24, 4,67 e 4,72 kWh/m² para os planos inclinados de 0°, 20° e 30°. Desse modo, é possível observar que, assim como para as outras cidades estudadas, a média

diária anual da irradiação global disponível aumenta com o aumento da inclinação entre 0° e 30°.

Tabela 7 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado para a cidade de Torres - RS.

Mês	0° de Inclinação			20° de Inclinação			30° de Inclinação		
	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	2,54	2,82	5,35	2,36	2,84	5,23	2,51	2,33	4,90
Fev	2,34	2,68	5,01	2,37	2,76	5,16	2,25	2,76	5,07
Mar	2,25	2,26	4,50	2,39	2,54	4,95	2,25	2,68	4,98
Abr	2,17	1,77	3,93	2,45	2,18	4,64	2,82	1,97	4,84
Mai	1,83	1,40	3,22	2,59	1,53	4,14	2,68	1,70	4,42
Jun	1,26	1,28	2,53	1,87	1,45	3,33	2,16	1,45	3,63
Jul	1,66	1,28	2,94	2,33	1,51	3,85	2,61	1,53	4,18
Ago	1,66	1,65	3,31	2,08	1,93	4,02	2,38	1,82	4,24
Set	1,65	2,25	3,89	2,14	2,25	4,41	2,09	2,35	4,48
Out	2,29	2,61	4,89	2,62	2,49	5,14	2,51	2,57	5,13
Nov	2,59	2,94	5,52	2,61	2,87	5,51	2,35	2,93	5,35
Dez	2,84	3,01	5,84	2,72	2,89	5,64	2,37	2,93	5,37

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Através das tabelas 8-12 é possível observar a diferença dos valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal extraídos da rede INMET, SWERA e do *software* Radasol. A variação percentual pela primeira e segunda coluna apresentadas possuem como base os dados do *software* Radasol e SWERA, respectivamente.

A Tabela 8 apresenta a comparação de dados de irradiação diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Araranguá – SC. Devido aos valores não significativos de medições entre os meses de julho de 2014 e novembro de 2014 a comparação não se torna completa. Contudo, observa-se que os dados obtidos pelo

INMET pelo tratamento dos dados de um ano se apresentaram superior para janeiro de 2015 e inferior para dezembro de 2014.

Tabela 8 – Comparação entre os dados de irradiação diária média para Araranguá – SC.

Mês	INMET	RADIASOL	Variação (%)	SWERA	Variação (%)
Janeiro - 2015	7,37	5,49	34,2%	6,05	22%
Fevereiro - 2015	5,82	5,2	11,9%	5,63	3%
Março - 2015	4,97	4,52	10,0%	4,84	3%
Abril - 2015	4,35	4	8,7%	4,47	-3%
Mai - 2015	3,47	3,25	6,8%	3,32	5%
Junho - 2015	3,36	2,61	28,7%	2,85	18%
Julho - 2014	///	2,97	///	2,63	///
Agosto - 2014	///	3,43	///	3,75	///
Setembro - 2014	///	3,91	///	4,4	///
Outubro - 2014	///	4,91	///	4,48	///
Novembro - 2014	///	5,5	///	6,02	///
Dezembro - 2014	5,53	5,97	-7,4%	6,76	-18,2%

A Tabela 9 apresenta a comparação de dados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Florianópolis – SC.

Tabela 9 – Comparação entre os dados de irradiação diária média para Florianópolis – SC.

Mês	INMET	RADIASOL	Variação (%)	SWERA	Variação (%)
Janeiro - 2015	6,56	5,96	10,1%	6,23	5,3%
Fevereiro - 2015	6,26	5,56	12,6%	5,85	7,0%
Março - 2015	5,45	4,92	10,8%	4,66	17,0%
Abril - 2015	4,21	4,05	4,0%	4,79	-12,1%
Mai - 2015	3,44	3,26	5,5%	3,37	2,1%
Junho - 2015	3,59	2,83	26,9%	2,76	30,1%
Julho - 2014	4,25	2,89	47,1%	2,73	55,7%
Agosto - 2014	4,87	3,54	37,6%	3,72	30,9%

Setembro - 2014	4,19	4,13	1,5%	4,38	-4,3%
Outubro - 2014	5,35	4,94	8,3%	4,90	9,2%
Novembro - 2014	6,96	5,73	21,5%	5,69	22,3%
Dezembro - 2014	7,45	6,15	21,1%	6,51	14,4%

Observa-se que os dados obtidos pelo INMET pelo tratamento dos dados de um ano se apresentaram superior em todos os meses analisados que os dados apresentados pelo *software* Radiasol e em 10 meses para os dados apresentados pelo SWERA. A maior variação ocorreu em julho de 2014 de 47,1% e a menor variação ocorreu em setembro de 2014 de 1,5% para os dados do Radiasol. Ocorreu uma variação de 55,7 % em julho de 2014 para os dados do SWERA.

A Tabela 10 apresenta a comparação de dados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Laguna/Santa Marta – SC. Observa-se que os dados obtidos pelo INMET pelo tratamento dos dados de um ano se apresentaram superior em dez meses analisados que os dados apresentados pelo *software* Radiasol, sendo que a maior variação ocorreu em agosto de 2014 de 37,8%. Apenas em dois meses, setembro de 2014 e janeiro de 2015, que a variação se apresentou negativa, porém não muito significativa, de -2,3% para setembro de 2014 e de -2,4% para janeiro de 2015. Para os dados fornecidos pelo SWERA, a variação é positiva para 7 meses, maior variação em julho de 2014 de 30% e os outros 5 meses a variação é negativa, em janeiro de 2015 apresentou -19 %.

Tabela 10 – Comparação entre os dados de irradiação diária média para Laguna/Santa Marta– SC.

Mês	INMET	RADIASOL	Variação (%)	SWERA	Variação (%)
Janeiro - 2015	5,19	5,32	-2,4%	6,41	-19,0%
Fevereiro - 2015	6,48	5,11	26,8%	5,67	14,3%
Março - 2015	5,45	4,42	23,3%	5,17	5,4%
Abril - 2015	4,29	3,88	10,6%	4,91	-12,6%
Maió - 2015	3,68	3,25	13,2%	3,37	9,2%
Junho - 2015	3,51	2,61	34,5%	2,75	27,6%
Julho - 2014	3,29	3,03	8,6%	2,53	30,0%
Agosto - 2014	4,78	3,47	37,8%	3,77	26,8%
Setembro - 2014	3,79	3,88	-2,3%	4,43	-14,4%

Outubro - 2014	6,77	4,92	37,6%	5,09	33,0%
Novembro - 2014	6,62	5,49	20,6%	6,68	-0,9%
Dezembro - 2014	6,47	5,99	8,0%	6,58	-1,7%

A Tabela 11 apresenta a comparação de dados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Urussanga – SC. Observa-se que os dados obtidos pelo INMET pelo tratamento dos dados de um ano se apresentaram superior em nove meses analisados que os dados apresentados pelo *software* Radiasol, a maior variação ocorreu em agosto de 2014 de 26,2%. O mês que apresentou maior a variação negativa foi julho de 2014, -4,3%. Para os dados do SWERA, 6 meses apresentaram variação negativa e outros seis meses variação positiva.

Tabela 11 – Comparação entre os dados de irradiação diária média para Urussanga – SC.

Mês	INMET	RADIASOL	Varição(%)	SWERA	Varição (%)
Janeiro - 2015	6,72	5,43	23,8%	5,85	14,9%
Fevereiro - 2015	5,28	5,17	2,1%	5,60	-5,7%
Março - 2015	4,74	4,47	6,0%	4,63	2,4%
Abril - 2015	4,45	3,95	12,7%	4,81	-7,5%
Maió – 2015	3,35	3,27	2,4%	3,40	-1,5%
Junho - 2015	3,12	2,6	20,0%	2,75	13,5%
Julho - 2014	2,90	3,03	-4,3%	2,70	7,4%
Agosto - 2014	4,43	3,51	26,2%	3,82	16,0%
Setembro - 2014	3,97	3,91	1,5%	4,49	-11,6%
Outubro - 2014	6,02	4,91	22,6%	4,69	28,4%
Novembro - 2014	5,45	5,56	-2,0%	5,56	-2,0%
Dezembro - 2014	6,04	6,07	-0,5%	6,23	-3,0%

A Tabela 12 apresenta a comparação de dados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Torres – RS. Devido aos valores não significativos de medições nos meses de maio de 2015 e junho de 2015 a comparação não se tornou completa. Contudo, observa-se que os dados obtidos pelo INMET pelo tratamento dos dados de um ano se apresentaram superior em todos os meses observados.

A maior variação ocorreu em setembro de 2014 de 32,4%. Para os dados do SWERA, a maior variação positiva ocorreu em outubro de 2014, 37%, e a maior variação negativa ocorreu em agosto de 2014, -31,3%.

Tabela 12 – Comparação entre os dados de irradiação diária média para Torres – RS.

Mês	INMET	RADIASOL	Variação (%)	SWERA	Variação (%)
Janeiro - 2015	6,98	5,35	30,5%	6,27	11,3%
Fevereiro - 2015	6,43	5,01	28,3%	5,77	11,4%
Março - 2015	5,83	4,5	29,6%	4,77	22,2%
Abril - 2015	4,54	3,93	15,5%	4,67	-2,8%
Mai - 2015	///	3,22	///	3,31	///
Junho - 2015	///	2,53	///	2,76	///
Julho - 2014	3,00	2,94	2,0%	2,55	17,6%
Agosto - 2014	3,92	3,31	18,4%	5,71	-31,3%
Setembro - 2014	5,15	3,89	32,4%	4,5	14,4%
Outubro - 2014	6,07	4,89	24,1%	4,43	37,0%
Novembro - 2014	6,65	5,52	20,5%	6,19	7,4%
Dezembro - 2014	6,90	5,84	18,2%	6,58	4,9%

De um modo geral, a irradiação diária média mensal se apresentou maior nos dados obtidos pela rede INMET e o mesmo perfil de variação de irradiação foi observado, maiores valores entre novembro de fevereiro e menores valores entre maio e julho.

CONCLUSÃO

Os valores obtidos da irradiação diária média anual a partir dos dados do INMET de um ano, de julho de 2014 a junho de 2015, foram: 5,22 kWh/m².dia para Florianópolis - SC, 5,03 kWh/m².dia para Santa Marta – SC e 4,71 kWh/m².dia para Urussanga – SC. Para Araranguá – SC e para Torres – RS não foi possível determinar a média anual de irradiação diária devido a coleta de dados de não significativos para 5 meses e 2 meses, respectivamente.

Os dados apresentados pelo *software* Radiasol para o plano horizontal foram: 4,31 kWh/m² para Araranguá - SC, 4,49 kWh/m² para Florianópolis – SC, 4,28 kWh/m² para Santa Marta – SC, 4,32 kWh/m² para Urussanga – SC, 4,24 kWh/m² para Torres – RS; para o plano inclinado a 20° orientado ao norte: 4,72 kWh/m² para Araranguá, 4,88 kWh/m² para Florianópolis – SC, 4,69 kWh/m² para Santa Marta – SC, 4,74 kWh/m² para Urussanga – SC, 4,67 kWh/m² para Torres – RS; para o plano inclinado a 30° orientado ao norte: 4,79 kWh/m² para Araranguá, 4,91 kWh/m² para Florianópolis – SC, 4,73 kWh/m² para Santa Marta – SC, 4,77 kWh/m² para Urussanga – SC, 4,72 kWh/m² para Torres – RS.

Observou-se um aumento da irradiação diária média anual para o aumento da inclinação no intervalo entre 0° e 30° graus de inclinação para todas as cidades em estudo. A comparação entre os dados mensais de irradiação demonstra que para a maioria dos meses os dados obtidos pelo INMET apresentam valores superiores que aqueles fornecidos pelo *software* Radiasol. Para os dados fornecidos pelo SWERA a variação ocorre tanto positiva quanto negativa.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. 2 ed. Brasília, 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>

BUHLER, A. J. ; RAMPINELLI, G. A. ; GASPARIN, F. P. ; KRENZINGER, A. . Energia Solar Fotovoltaica e o Setor Elétrico Brasileiro: Situação Atual e Perspectivas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 19, p. 04.73-04.83, 2015.

GALDINO, M. A. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. Direng, Rio de Janeiro, 6, p.17-25.

IMPERIAL, L. C. C.; PEREIRA, O. S. Análise do Potencial do Recurso Solar na Bahia a Partir de Software de Informação Geográfica Baseado na Web. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2014, Recife: CBENS, 2014.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A. ; PRIEB, C. W. M. ; BUHLER, A. J. . Mercado Fotovoltaico no Brasil: Implantação de Políticas Governamentais e Marcos Regulatórios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 17, p. 04.17-04.23, 2013.

SWERA (Estados Unidos). SWERA (beta release). Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=-22.512556954051437%2C-11.25&zL=3>

TAVARES, J.; GALDINO, M.A (org.). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL E CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

TIBA, C.; WILMA, V.; REIS, R. J.; ABREU, J. F.; ALVES, M. A. S.; DUMONT, M. A.; COSTA, J. C. E.; GUIMARÃES, D. P. Metodologia para Elaboração de Mapas de Radiação Solar para Minas Gerais. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2014, Recife: CBENS, 2014.