



Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6671922011	
CAPÍTULO 2	26
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
DOI 10.22533/at.ed.6671922012	
CAPÍTULO 3	41
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.6671922013	
CAPÍTULO 4	58
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.6671922014	
CAPÍTULO 5	72
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6671922015	
CAPÍTULO 6	87
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.6671922016	

CAPÍTULO 7	1043
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila	
Joel Rocha Pinto	
Thales Prini Franchi	
Thiago Prini Franchi	
DOI 10.22533/at.ed.6671922017	
CAPÍTULO 8	120
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
DOI 10.22533/at.ed.6671922018	
CAPÍTULO 9	139
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito	
Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.6671922019	
CAPÍTULO 10	152
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas	
Franciele Rohr	
Ísis Portolan dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.66719220110	
CAPÍTULO 11	165
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister	
João Batista Dias	
Leonel Augusto Calliari Poltosi	
DOI 10.22533/at.ed.66719220111	
CAPÍTULO 12	181
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto	
Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias	
Matheus de Mendonça Herzog	
Luciana Carvalho Penha	
Lucio Cesar de Souza Mesquita	
Elizabeth Marques Duarte Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220112	
CAPÍTULO 13	194
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita
Thais Andrade de Paula Lovisi
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira
Juliana Lobo Paes
Camila Lucas Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.66719220113

CAPÍTULO 14 212

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFS QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard Díaz
Yordanka Reyes Cruz
Rene Gonzalez Carliz
Fabio Toshio Dino
Maurílio Novais da Paixão
Donato A. Gomes Aranda
Marina Galindo Chenard

DOI 10.22533/at.ed.66719220114

CAPÍTULO 15 225

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello
Letícia Jenisch Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.66719220115

CAPÍTULO 16 241

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri
Leonardo dos Santos Reis Vieira
Marco Antonio Galdino
Márcia da Rocha Ramos

DOI 10.22533/at.ed.66719220116

CAPÍTULO 17 257

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi
Adriane Prisco Petry

DOI 10.22533/at.ed.66719220117

CAPÍTULO 18 272

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia
Jeanne Moro
Muza Iwanow
Rebecca Avença
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.66719220118

CAPÍTULO 19	284
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220119	
CAPÍTULO 20	297
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220120	
CAPÍTULO 21	312
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
DOI 10.22533/at.ed.66719220121	
CAPÍTULO 22	330
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
DOI 10.22533/at.ed.66719220122	
CAPÍTULO 23	342
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
DOI 10.22533/at.ed.66719220123	
CAPÍTULO 24	354
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220124	

CAPÍTULO 25	367
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
DOI 10.22533/at.ed.66719220125	
CAPÍTULO 26	379
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220126	
CAPÍTULO 27	398
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
DOI 10.22533/at.ed.66719220127	
CAPÍTULO 28	410
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
DOI 10.22533/at.ed.66719220128	
CAPÍTULO 29	422
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220129	
SOBRE O ORGANIZADOR	431

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Helena Flávia Naspolini

Julio Boing Neto

Gustavo Xavier de Andrade Pinto

Ricardo Rüter

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476,

Florianópolis-SC, 88040-900

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo estimar a contribuição energética e o desempenho de um sistema fotovoltaico hipotético conectado à rede e integrado à arquitetura do complexo aquático da Universidade Federal de Santa Catarina. Os resultados mostram que, embora Florianópolis esteja localizada na região de menor incidência de irradiação solar no país e com a maior variabilidade, a energia solar apresenta grande potencial de aproveitamento. Os resultados mostram ainda que a geração anual de energia fotovoltaica obtida através de dados medidos de irradiação solar global horizontal no Campus da Trindade - UFSC, em Florianópolis, seria 13 % menor do que a geração anual obtida para Florianópolis através dos bancos de dados da NASA, NREL e INPE para o sistema fotovoltaico com módulos de filmes finos de CdTe e 12 % menor para o sistema fotovoltaico com módulos de p-Si. Para os sistemas analisados, o gerador

fotovoltaico composto por módulos de CdTe apresenta maior produtividade anual do que o sistema fotovoltaico composto por módulos de p-Si.

ABSTRACT: The objective of this paper is to estimate the performance and energetic contribution of a hypothetical building-integrated photovoltaic system at the Universidade Federal de Santa Catarina aquatic center. The results show that even though Florianópolis is located in the region containing the lowest values and highest variability of solar radiation in Brazil, there is a great potential for solar power use. Furthermore, it is shown that the annual power generation obtained via the use of global horizontal irradiance measured data for the Trindade - Campus, in Florianópolis, would be 13 % lower than the values of annual power generation obtained via NASA, NREL and INPE databases for the photovoltaic system composed by thin-film cadmium telluride (CdTe) PV modules, and 12 % lower for the photovoltaic system composed by crystalline silicon (p-Si) PV modules. For the case studied, the photovoltaic system composed by CdTe modules presented a higher annual yield than that of the system composed of p-Si PV modules.

1 | INTRODUÇÃO

Os recursos de irradiação solar no Brasil, além de se apresentarem como uns dos maiores do mundo podem ser descritos como uniformemente distribuídos e com pequena variabilidade anual (Pereira *et al.*, 2006). O Brasil apresenta médias diárias regionais de irradiação solar global no plano horizontal tais como: Norte: 5,5 kWh/m², Nordeste: 5,7 kWh/m², Centro Oeste: 5,6 kWh/m², Sudeste: 5,5 kWh/m² e Sul 5,0 kWh/m² (Colle *et al.*, 2000). O índice médio anual de irradiação solar no país é maior na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco e menor na região Sul. O nível médio anual de irradiação solar global em Florianópolis (27° S, 48° O), embora seja um dos menores níveis de irradiação solar global média anual do país, é de cerca de 1.600 kWh/m² (Colle *et al.*, 2001). Mesmo em climas mais temperados como os da região Sul, com menores índices de irradiação solar, o país apresenta potencial econômico e técnico para o aproveitamento da energia solar (Goldemberg *et al.*, 2004; Rosa e Lomardo, 2004; Carlo e Lamberts, 2008).

A integração da energia solar fotovoltaica à edificação é uma boa alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica e o Brasil tem as condições necessárias para aproveitar tais tecnologias (Rüther e Zilles, 2011). Estudos demonstram benefícios para investidores do setor comercial ao integrar esse tipo de geração em suas edificações, reduzindo custos do pico de demanda (Braun e Rüther, 2010; Jardim *et al.*, 2008). Consumidores residenciais também se beneficiam do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) ao reduzir o custo do uso de energia elétrica (Rezaie *et al.*, 2013). Adicionalmente, estudos apontam para resultados promissores no que diz respeito à eficiência da geração, vida útil e redução de custos de implantação de tecnologias de módulos fotovoltaicos (Gregg *et al.*, 2005; Dunlop *et al.*, 2005, Dunlop e Halton; 2006; El Chaar *et al.*, 2011). Ao longo dos anos, o custo médio de implantação de sistemas fotovoltaicos vem diminuindo e incentivos fiscais e criação de novas indústrias nesta área devem aumentar (Green, 2004).

A utilização de energias renováveis apresenta ótimas soluções sustentáveis para campi universitários (Yarbrough *et al.*, 2015, Kalkan *et al.*, 2011). Para avaliar o desempenho da tecnologia solar fotovoltaica, foi instalado em setembro de 1997, no Campus da Trindade - UFSC, o primeiro sistema fotovoltaico do Brasil integrado à arquitetura e interligado à rede elétrica, com potência instalada de 2,015 kWp, composto por módulos fotovoltaicos de filmes finos de silício amorfo, distribuído em 5 *strings* com 13 módulos cada, orientado para o norte geográfico, com desvio de 6° para o leste (Rüther e Dacoregio, 2000).

2 | METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo estimar a contribuição energética e o desempenho

de um SFCR e integrado à edificação para diferentes tecnologias (filmes finos de telureto de cádmio – CdTe e silício policristalino p-Si) e diferentes bancos de dados meteorológicos, através de simulações utilizando o *software* PVSyst (www.pvsyst.com). O sistema fotovoltaico analisado é integrado à área da superfície (aproximadamente 3.400 m²) do arco do ginásio do Complexo Aquático do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina (27° 36' S e 48° 31' O), localizado no Campus da Trindade - UFSC, em Florianópolis.

A Fig. 1 apresenta imagem do ginásio e a localização dos subsistemas do SFCR tanto para módulos de CdTe como para módulos de p-Si.

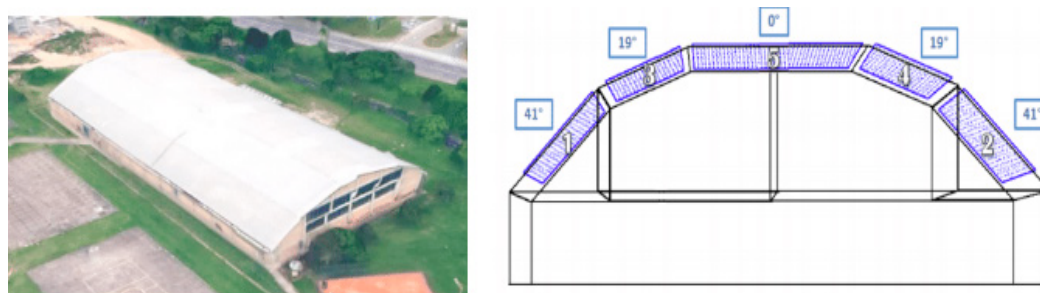


Figura 1 - Ginásio do Complexo Aquático do CDS/UFSC e localização dos subsistemas.

(Fonte: Google Earth).

Para avaliar o recurso solar no local de inserção da edificação, a metodologia adotada consiste em levantar a evolução mensal da irradiação solar média diária no plano horizontal e da temperatura ambiente média diária para o Campus da Trindade - UFSC.

A Eq. (1) apresenta a irradiação solar horizontal no local de inserção da edificação, em intervalos de 5 minutos.

$$I_{rr} = I_r \times \frac{5}{60} \quad (1)$$

onde:

I_{rr} = Irradiação solar horizontal, expressa em Wh/m²;

I_r = Irradiância no plano horizontal, expressa em W/m².

A irradiação solar horizontal no intervalo de tempo especificado pode ser obtida pela soma das irradiações solares horizontais calculadas a cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de tempo especificado.

Para o período compreendido entre 2009 e 2013, a irradiação solar média diária no plano horizontal e a temperatura ambiente média diária foram obtidas através de dados (irradiância e temperatura) registrados em intervalos de 5 minutos pelo *datalogger* SMA Sunny Webbox do sistema de 2 kWp instalado no Campus da Trindade

- UFSC. Através desses dados, foi obtido um ano médio representativo deste período, intitulado “Média 09-13”.

Os valores de irradiação solar média diária do ano “Média 09-13” foram comparados com valores médios diários de irradiação solar horizontal para Florianópolis oriundos dos bancos de dados da NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>), do NREL (<https://www.data.gov/>) e do INPE/Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://en.openei.org/datasets/>). Os valores de temperatura ambiente média diária do ano “Média 09-13”, foram comparados com valores médios diários de temperatura ambiente para Florianópolis, oriundos do banco de dados da NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>) e do INMET (<http://www.inmet.gov.br/>).

Para os diferentes bancos de dados meteorológicos, a contribuição energética e o desempenho do SFCR integrado à edificação foram avaliados através de simulações via PVSyst para módulos fotovoltaicos de CdTe e de p-Si. A Tab. 1 apresenta as principais características dos módulos fotovoltaicos.

Tecnologia	Potência (W)	V_{MPP} (V)	I_{MPP} (A)	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)
Filme Fino/Telureto de Cádmio (CdTe)	105	67,0 V	1,38	86,0	1,54
Silício policristalino (p-Si)	260	30,9 V	8,41	38,9	8,98

Tabela 1 - Características dos módulos fotovoltaicos.

onde:

V_{MPP} = Tensão de máxima potência;
potência;

I_{MPP} = Corrente de máxima

V_{OC} = Tensão de circuito aberto;
circuito.

I_{SC} = Corrente de curto

Como não é possível reproduzir uma superfície curva no PVSyst, no modelo tridimensional adotado para as simulações, a cobertura do ginásio foi dividida em cinco subsistemas, conforme mostrado na Fig. 1 e detalhado na Tab. 2. As simulações foram realizadas com os módulos em posição paisagem, a fim de que o menor lado fosse responsável pela curvatura da cobertura do edifício.

	Subsistemas		Área (m ²)		Número de módulos	
	Inclinação	Orientação azimutal	p-Si	CdTe	p-Si	CdTe
1	41°	-65°	666	553	408	768
2	41°	115°	666	553	408	768
3	19°	-65°	500	461	306	640
4	19°	115°	500	461	306	640
5	0°	-	1.000	922	612	1.280

TOTAL	3.332	2.950	2.040	4.096
-------	-------	-------	-------	-------

Tabela 2 - Subsistemas da superfície curva da edificação simulada.

A especificação do inversor levou em consideração a compatibilidade entre este equipamento e os módulos fotovoltaicos utilizados, facilitando assim as simulações. Além disso, foram levados em consideração fatores técnicos e de utilização. Neste trabalho, os inversores escolhidos são do mesmo fabricante. Apesar de que na Europa comumente inversores são projetados com fator de dimensionamento do inversor (FDI) entre 0,6 e 0,7, no Brasil, devido aos altos níveis de irradiação solar, existe a recomendação para se dimensionar o inversor mais próximo à potência nominal da geração fotovoltaica (Zilles *et al.*, 2012). Para cada tecnologia analisada foi adotado um FDI próximo porém menor do que 1. Para o sistema composto por módulos de p-Si, adotou-se FDI = 0,90 e para o composto por módulos de CdTe, FDI = 0,94.

A Tab. 3 apresenta resumidamente a potência fotovoltaica instalada e a potência dos inversores de cada subsistema.

Subsistemas	Potência FV instalada (kWp)		Potência do inversor (kWp)	
	Sistema p-Si	Sistema CdTe	Sistema p-Si	Sistema CdTe
1	106	80,6	100	80
2	106	80,6	100	80
3	79,6	67,2	70	60
4	79,6	67,2	70	60
5	159	134	138	125
TOTAL	530,2	429,6	478	405

Tabela 3 - Potência instalada e potência dos inversores de cada subsistema.

A Eq. (2) apresenta o Desempenho global (PR) anual do SFCR.

$$PR = \frac{E_{Grid} \times G_{STC}}{GlobInc \times P_{nom}} \quad (2)$$

onde:

PR = Desempenho global anual;

E_{Grid} = Energia anual injetada na rede, expressa em kWh;

$GlobInc$ = Irradiação solar global anual incidente no plano dos arranjos fotovoltaicos, expressa em kWh/m²;

P_{nom} = Potência nominal do arranjo nas condições padrão de teste (STC), expressa em kWp;

G_{STC} = Irradiância nas condições padrão de ensaio (1.000 W/m²).

A Eq. (3) apresenta a produtividade anual (*Yield*) do SFCR.

$$Yield = \frac{E_{Grid}}{P_{nom}} \quad (3)$$

onde:

Yield = Produtividade anual, expressa em kWh/kWp;

E_{Grid} = Energia anual injetada na rede, expressa em kWh;

P_{nom} = Potência nominal do arranjo nas condições padrão de teste (STC), expressa em kWp.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações foram realizadas através do *software* PVsyst na versão 6.39, utilizando os bancos de dados de irradiação solar e de temperatura do INPE, NASA, NREL, INMET e dados registrados durante o período compreendido entre 2009 e 2013, pela estação solarimétrica do primeiro sistema fotovoltaico do Brasil integrado à arquitetura e interligado à rede elétrica, instalado no Campus da Trindade - UFSC. Para os diferentes bancos de dados meteorológicos, a contribuição energética e o desempenho do SFCR integrado à edificação foram avaliados para módulos fotovoltaicos de CdTe e p-Si.

A Fig. 2 apresenta a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária do ano médio representativo intitulado “Média 09-13” e a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária para Florianópolis, obtida através de dados oriundos do INPE, NASA e NREL. Apresenta ainda as diferenças percentuais entre a irradiação solar global horizontal média diária “Média 09-13” medida no Campus da Trindade - UFSC e a irradiação solar global horizontal média diária do INPE, NASA e NREL.

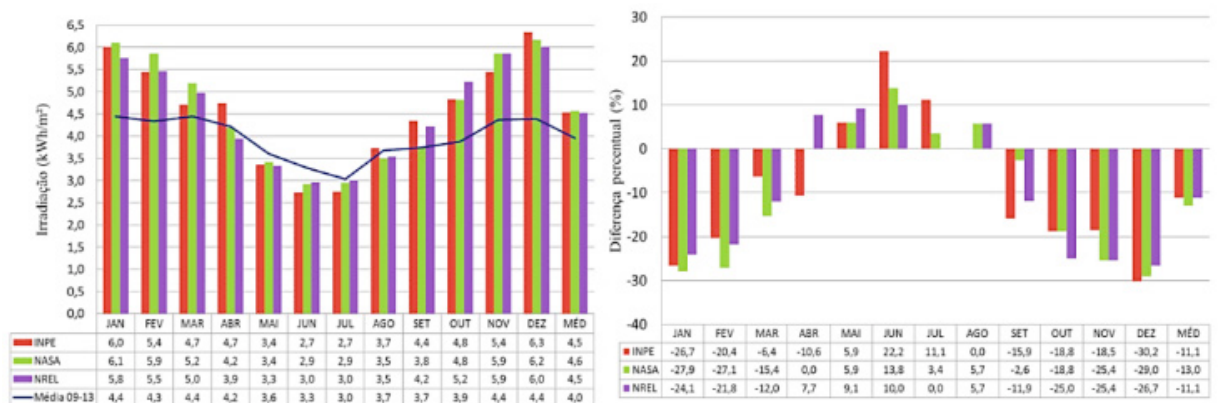


Figura 2 – Evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária e das diferenças percentuais.

Os resultados mostram que a irradiação solar global horizontal média diária foi de 4,0 kWh/m² (Média 09-13), 4,6 kWh/m² (NASA), 4,5 kWh/m² (NREL e INPE). A irradiação solar média diária (Média 09-13) é aproximadamente 11 % menor do que a irradiação solar média diária do INPE e NREL e 13% menor do que a irradiação solar média diária da NASA.

A Fig. 3 apresenta a evolução mensal da temperatura ambiente média diária do ano médio intitulado “Média 09-13” e a evolução mensal da temperatura ambiente média diária para Florianópolis, obtida através do banco de dados do INMET e da NASA. Apresenta ainda as diferenças percentuais entre a temperatura ambiente média diária “Média 09-13” e a temperatura ambiente média diária do INPE, NASA e NREL.

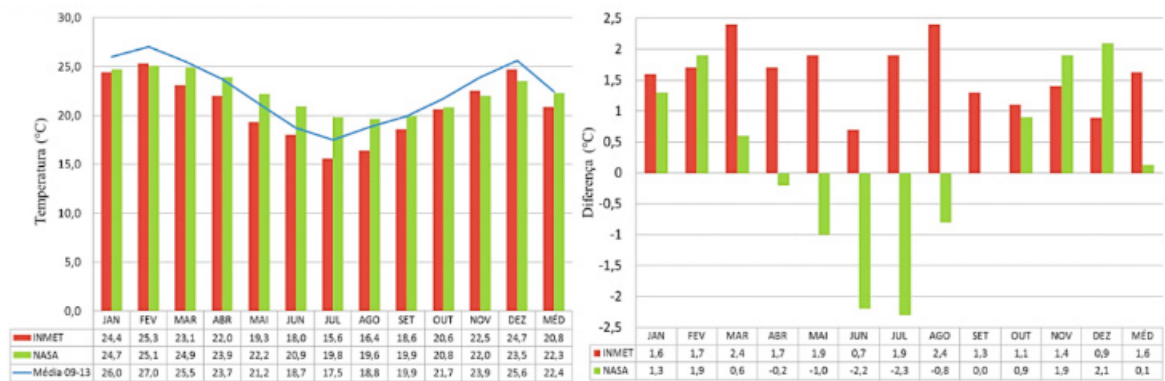


Figura 3 – Evolução mensal da temperatura ambiente média diária e das diferenças.

Os resultados mostram temperatura ambiente média diária de 22,4 °C (Média 09-13), 20,8 °C (INMET) e 22,3 °C (NASA). A temperatura ambiente média diária (Média 09-13) é 1,6 °C maior do que a temperatura ambiente média diária (INMET) e aproximadamente igual à temperatura ambiente média diária (NASA).

Para todos os sistemas analisados, as perdas consideradas nas simulações foram definidas e padronizadas, conforme mostra a Tab. 4. Os dados de perdas são inseridos nos parâmetros da simulação e são importantes na composição dos resultados.

Tecnologia	Perda ôhmica	Perda da eficiência dos módulos	Perda por mismatch	Perda por sujeira	Indisponibilidade do sistema	Perdas LID
CdTe	1,5%	2,5%	0,8%	3,0%	2,0%	-
p-Si	1,5%	-0,8%	1,0%	3,0%	2,0%	1,3%

Tabela 4 – Perdas padronizadas do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

As Fig. 4 e 5 apresentam o Desempenho Global (PR) anual e a produtividade (yield) anual do SFCR.

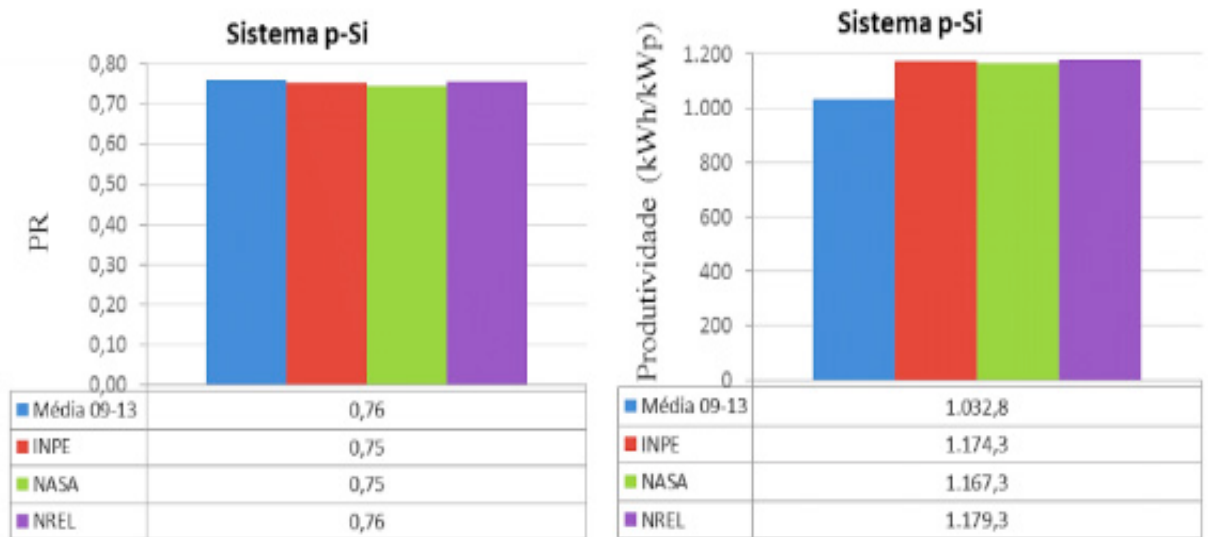


Figura 4 – Desempenho Global (PR) anual e produtividade anual do sistema fotovoltaico com módulos de p-Si.

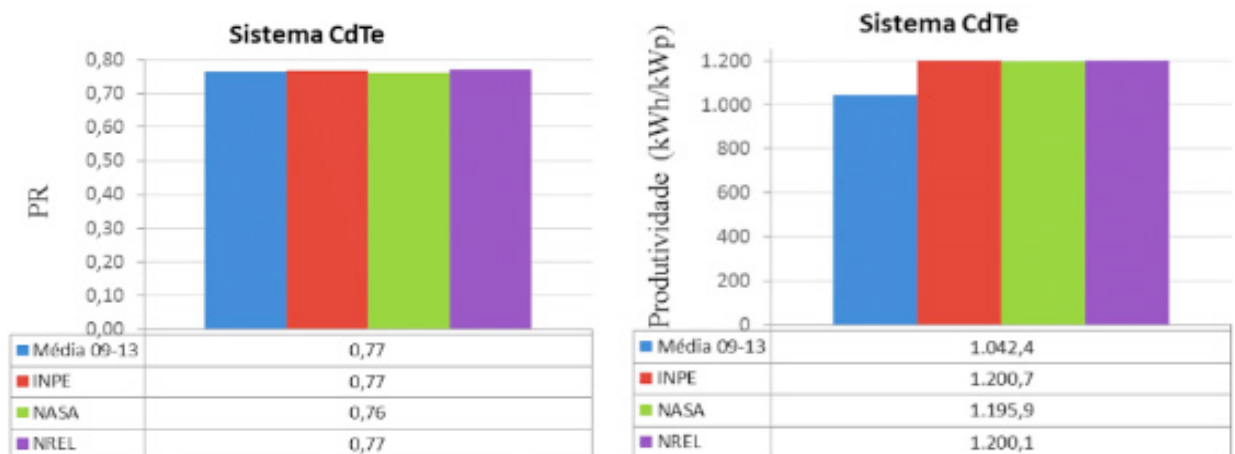


Figura 5 – Desempenho Global (PR) anual e produtividade anual do sistema fotovoltaico com módulos de CdTe.

A Tab. 5 apresenta as perdas por temperatura para as tecnologias de CdTe e p-Si.

Banco de Dados	Perdas por temperatura (%)	
	p-Si	CdTe
Média 09-13	11,2	9,5
NASA	12,5	10,4
INPE	11,7	9,8
NREL	11,7	9,8

Tabela 5 - Perdas por temperatura.

Observa-se que o sistema fotovoltaico composto por módulos de CdTe apresenta menores perdas por temperatura e consequentemente maior produtividade do que o sistema fotovoltaico composto por módulos de p-Si.

A Fig. 6 apresenta a evolução mensal da energia gerada pelo SFCR composto por módulos de p-Si para diferentes bancos de dados de irradiação solar global horizontal média diária. Apresenta também as respectivas diferenças percentuais entre a “Média 09-13” e os diferentes bancos de dados.

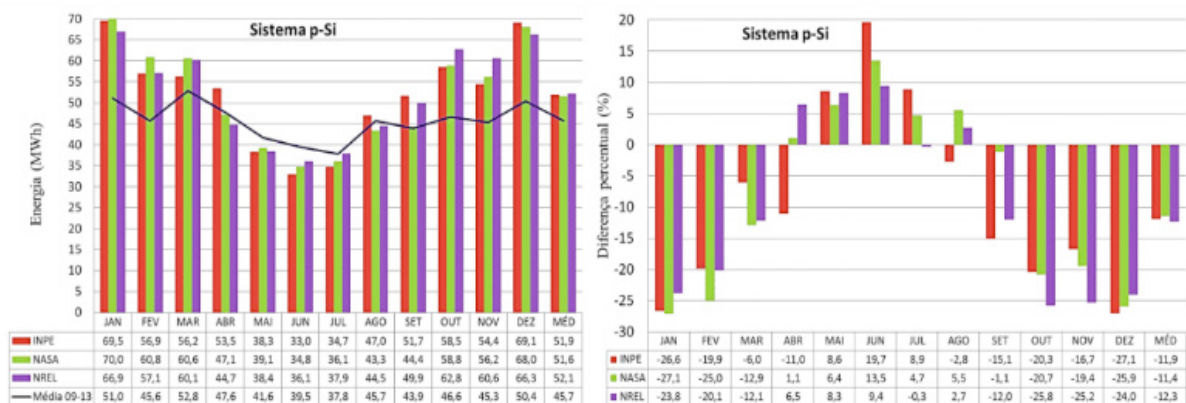


Figura 6 – Evolução mensal da energia gerada pelo sistema com módulos de p-Si e diferenças percentuais entre a “Média 09-13” e os diferentes bancos de dados utilizados.

Os resultados mostram valores médios mensais de energia gerada pelo SFCR (p-Si) de 51,9 MWh (INPE), 51,6 MWh (NASA), 52,1 MWh (NREL) e 45,7 MWh (Média 09-13). Os resultados de um ano de simulação mostram geração média mensal (Média 09-13) 11,9 % menor do que a geração média mensal (INPE), 12,3 % menor do que a geração média mensal (NREL) e 11,4 % menor do que a geração média mensal (NASA).

A Fig. 7 apresenta a evolução mensal da energia gerada pelo SFCR composto por módulos de CdTe para diferentes bancos de dados de irradiação solar global horizontal média diária. Apresenta também as respectivas diferenças percentuais entre a “Média 09-13” e os diferentes bancos de dados.

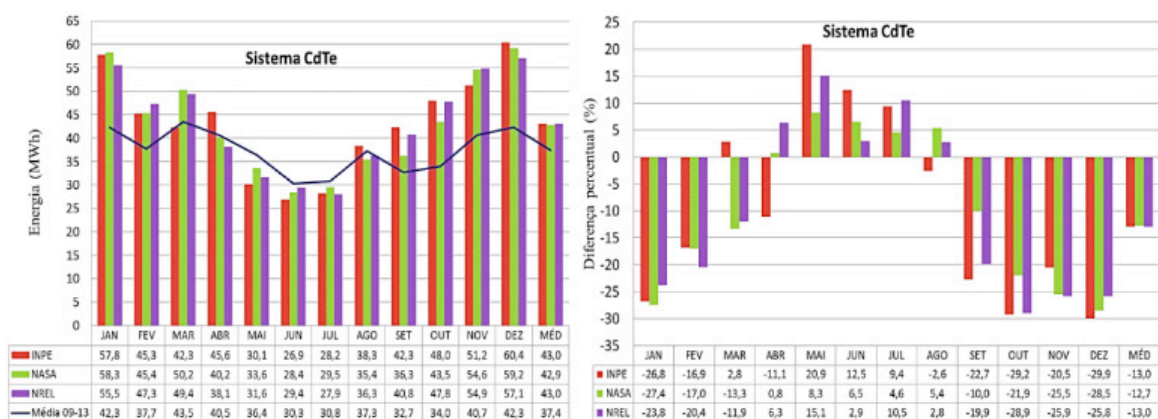


Figura 7 – Evolução mensal da energia gerada pelo sistema com módulos de CdTe e diferenças percentuais entre a “Média 09-13” e os diferentes bancos de dados utilizados.

Os resultados mostram valores médios mensais de energia gerada pelo SFCR (CdTe) de aproximadamente 43 MWh (INPE, NASA e NREL) e 37,4 MWh (Média 09-13). Os resultados de um ano de simulação mostram geração média mensal (Média 09-13) aproximadamente 13% menor do que a geração média mensal (INPE, NREL e NASA).

Os resultados mostram que a geração anual de energia (Média 09-13) seria, para o sistema fotovoltaico com módulos de CdTe, 13 % menor do que a geração anual obtida para Florianópolis através dos bancos de dados da NASA, NREL e INPE e para o sistema fotovoltaico com módulos de p-Si seria 12 % menor.

A Tab. 6 resume, para os diversos bancos de dados e para os sistemas analisados, os valores anuais de irradiação global horizontal, energia gerada, desempenho global (PR) e produtividade.

		Potência instalada CdTe (429,6 kWp)			Potência instalada p-Si (530,2 kWp)		
Banco de dados	Irradiação global horizontal (kWh/m ²)	Energia (MWh)	PR	Produtividade (kWh/kWp)	Energia (MWh)	PR	Produtividade (kWh/kWp)
Média 09-13	1.440,8	448,4	0,77	1.042,4	547,9	0,76	1.032,8
NASA	1.661,7	514,6	0,76	1.200,7	619,3	0,75	1.174,3
INPE	1.653,9	516,5	0,77	1.195,9	622,7	0,75	1.167,3
NREL	1.647,9	516,3	0,77	1.200,1	625,3	0,76	1.179,3

Tabela 6 - Irradiação global horizontal, energia gerada, desempenho global e produtividade.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo estimar a contribuição energética e o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à edificação para diferentes tecnologias e diferentes bancos de dados meteorológicos através de simulações utilizando o *software* PVSystem. O sistema fotovoltaico analisado é integrado ao ginásio do Complexo Aquático do Centro de Desportos, localizado no Campus da Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis.

As estimativas de geração fotovoltaica foram simuladas através de ferramentas computacionais baseadas em diferentes bancos de dados de irradiação e temperatura, tais como NASA, NREL, INPE, INMET e dados medidos no Campus da Trindade – UFSC, no período compreendido entre 2009 e 2013.

Observa-se que embora Florianópolis esteja localizada na região de menor incidência de irradiação solar no país e com a maior variabilidade, a energia solar

apresenta-se abundante e bem distribuída, com grande potencial de aproveitamento. Os resultados mostram que a geração anual de energia fotovoltaica obtida através de dados medidos de irradiação solar global horizontal seria 13 % menor do que a geração anual obtida, para Florianópolis, através dos bancos de dados da NASA, NREL e INPE para o sistema fotovoltaico com módulos de CdTe e 12 % menor para o sistema fotovoltaico com módulos de p-Si. Os resultados mostram ainda, para os sistemas analisados, que o sistema fotovoltaico composto por módulos de CdTe apresenta menores perdas por temperatura e conseqüentemente maior produtividade anual do que o sistema fotovoltaico composto por módulos de p-Si.

5 | REFERÊNCIAS

- Braun, P., Rütther, R., 2010. The role of grid-connected building integrated photovoltaic generation in commercial building energy and power loads in a warm and sunny climate, *Energy Conversion and Management*, vol, 51, pp. 2457-2466.
- Carlo, J., Lamberts, R., 2008. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: effect of different variables on electricity consumption, *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 2002-2008.
- Colle, S.; Pereira, E.B., 2000. Atlas de Radiação Solar do Brasil - INMET/LABSOLAR/CEPTEC/INPE .
- Colle, S.; Abreu, S.L.; Rütther, R., 2001. Uncertainty in Economical Analysis of Solar Water Heating and Photovoltaic Systems. *Solar Energy*, Elsevier Science 70, pp. 131-142.
- Dunlop, E. D., Halton, D., 2006. The performance of crystalline silicon photovoltaic solar modules after 22 years of continuous outdoor exposure, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 14, pp. 53-64.
- Dunlop, E. D., Halton, D., Ossenbrink, H. A., 2005. 20 years of life and more: where is the end of life of a PV module? Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Thirty-first IEEE, pp:1593-1596.
- El Chaar, L., Lamont, L. A., El Zein, N., 2011. Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 2165-2145.
- Goldemberg, J., Coelho, S.T., Gol, O.L., 2004. How adequate policies can push renewables, *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1141-1146.
- Gregg, A., Blieden, R., Chang, A., Ng, H., 2005. Performance analysis of large scale, amorphous silicon, photovoltaic power systems, Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Thirty-first IEEE, pp. 1615,1618.
- Green, M. A., 2004. Recent developments in photovoltaics, *Solar Energy*, vol. 76, pp. 3-8.
- INMET. Banco de dados de irradiação solar e temperatura ambiente para a estação Florianópolis. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10/09/15.
- INPE. Solar Radiation in Brazil. Disponível em <<http://en.openei.org/datasets/dataset>>. Acesso em: 03/09/15.
- Jardim, C. D. S., Rütther, R., Salamoni, I. T., Viana, T. D. S., Rebechi, S. H., Knob, P. J., 2008. The

strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil, *Energy and Buildings*, vol 40, pp. 365-370.

Kalkan, N., Bercin, K., Cangul, O., Morales, M.G., Saleem, M.M.K.M., Marji, I. Metaxa, A., Tsigkogianni, E., 2011. A renewable energy solution for Highfield Campus of University of Southampton, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 2940-2959.

NASA. Surface meteorology and Solar Energy Release Data Set. Disponível em: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>>. Acesso em: 03/09/15.

NREL. CSR Model data for South America. Disponível em: <<https://www.data.gov>>. Acesso em: 03/09/15.

Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.L., Rüther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, Brasil, p. 31, ISBN: 978-85-17-000300-0. .

PVSyst - *Software* de dimensionamento fotovoltaico. Modelo 6.39, 2015. Disponível em: <www.pvsyst.com>

Rosa, L.P., Lomardo, L.L.B., 2004. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation, *Energy and Buildings*, vol.36, pp. 89-95.

Rezaie, B., Dincer, I., Esmailzadeh, E., 2013. Energy options for residential buildings assessment, *Energy Conversion and Management*, vol.65, pp. 637-646.

Rüther, R., Dacoregio, M.M., 2000. Performance assessment of a 2kWp grid-connected, building-integrated, amorphous silicon photovoltaic installation in Brazil, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol.7, pp. 257-266.

Rüther, R., Zilles, R., 2011. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil, *Energy Policy*, vol. 39, pp. 1027-1030.

Zilles, R, Macêdo, W. I. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F., 2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, São Paulo, Oficina de Textos, vol.1, pp. 208.

Yarbrough, I., Sun, Q., Reeves, D.C., Hackman, K., Bennett, R., Henshel, D.S., 2015. Visualizing building energy demand for building peak energy analysis, *Energy and Buildings*, vol. 91, pp. 10-15.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-066-7

