



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DAYANE CRISTINA LIMA RAMALHO

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA FOTOVOLTAICA NA
TEMPERATURA DE UMA EDIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL**

FORTALEZA/CE

2022

DAYANE CRISTINA LIMA RAMALHO

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA FOTOVOLTAICA NA
TEMPERATURA DE EDIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante.

FORTALEZA/CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R135i Ramalho, Dayane Cristina Lima.
Influência da cobertura fotovoltaica na temperatura de uma edificação no nordeste do Brasil / Dayane Cristina Lima Ramalho. – 2022.
95 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.
Coorientação: Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante.
1. Coberturas fotovoltaicas. 2. Temperatura. 3. Edificação. 4. Tecnologias renováveis. I. Título.
CDD 620.1
-

DAYANE CRISTINA LIMA RAMALHO

INFLUÊNCIA DA COBERTURA FOTOVOLTAICA NA TEMPERATURA DE UMA
EDIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Aprovada em 22/06/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Carla Freitas de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho à minha filha,
família e Deus.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Zuleide de Lima Ramalho e Jesus Ramalho Perdigão, por sempre acreditarem em mim, abdicando muitas vezes dos próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus.

A minha filha, Sophia Ramalho, por me iluminar, alegrar e dar forças para lutar por um futuro melhor todos os dias.

A minha irmã, Ane Kelly Lima Ramalho, por sempre estar presente em todas as fases da minha vida e por me incentivar a prosseguir com meus sonhos, mesmo nos tempos mais adversos.

Ao meu noivo, Magno Costa, por sempre me apoiar e incentivar em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, pela contribuição concedida na construção deste trabalho, se comprometendo a me orientar e compartilhar seus conhecimentos.

Aos professores participantes da banca examinadora, Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante, Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha e Dra. Carla Freitas de Andrade, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

“Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio o previne”.

Albert Einstein

RESUMO

A presente pesquisa visa avaliar os impactos da aplicação de módulos FV na cobertura de uma edificação sob sua temperatura ambiente interna. Os dados de temperatura, da laje e do ambiente interno da edificação, foram obtidos por meio de sensores de temperatura instalados no Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA-UFC). Observou-se uma redução média de $2,26^{\circ}\text{C}$ e $1,16^{\circ}\text{C}$, da temperatura interna da laje sombreada com módulos FV e para a temperatura ambiente interna da edificação, respectivamente, em comparação à temperatura sem qualquer tipo de sombreamento. Além disso, o desvio padrão dos dados do período é de 0,74 para a temperatura ambiente interna com cobertura sombreada por módulos FV e 1,27 para a temperatura ambiente interna sem sombreamento FV. Este fato indica maior estabilidade térmica dos ambientes internos com cobertura sombreada por módulos FV. Em uma segunda etapa, foram realizadas simulações computacionais para análise térmica através da utilização de programas computacionais. O SketchUp é utilizado para a modelagem 3D da edificação utilizada na simulação. O OpenStudio é um *plugin* utilizado para que desenhos feitos no SketchUp sejam inseridos no *EnergyPlus* que, por sua vez, tem a função de realizar a simulação dos dados. Em um primeiro momento foram verificadas a temperatura e umidade interna da edificação, conforme as características de construção, sem a utilização de módulos FV em sua cobertura; foram analisados os mesmos parâmetros térmicos para a edificação com a cobertura sombreada por módulos FV. As variações de temperatura interna do ambiente, no período considerado, são, em média, de $0,1^{\circ}\text{C}$, e máxima de $0,2^{\circ}\text{C}$ e de umidade interna são, em média, de 0,4%, e máxima de 0,7%. A diferença entre os valores medidos e simulados pode indicar necessidade de maior precisão da metodologia usada nos programas, considerando condições climáticas específicas do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Coberturas fotovoltaicas, Temperatura, Edificação, Tecnologias renováveis.

ABSTRACT

The present research aims to evaluate the impacts of the application of PV modules on the roof of a building under its internal ambient temperature. The temperature data of the slab and the internal environment of the building were obtained through temperature sensors installed at the Laboratory of Alternative Energies of the Federal University of Ceará (LEA-UFC). An average reduction of 2.26°C and 1.16°C was observed for the internal temperature of the slab shaded with PV modules and for the internal ambient temperature of the building, respectively, compared to the temperature without any type of shading. In addition, the standard deviation of the period data is 0.74 for indoor ambient temperature with shaded coverage by PV modules and 1.27 for indoor ambient temperature without PV shade. This fact indicates greater thermal stability of indoor environments with shaded coverage by PV modules. In a second step, computer simulations were performed for thermal analysis through the use of computer programs. SketchUp is used for 3D modeling of the building used in the simulation. OpenStudio is a plugin used for drawings made in SketchUp to be inserted into EnergyPlus, which, in turn, has the function of simulating the data. At first, the temperature and internal humidity of the building were verified, according to the construction characteristics, without the use of PV modules in its roof; the same thermal parameters were analyzed for the building with the roof shaded by PV modules. The variations of internal temperature of the environment, in the considered period, are, on average, of 0.1°C, and maximum of 0.2°C and of internal humidity are, on average, of 0.4%, and maximum of 0.7%. The difference between the measured and simulated values may indicate the need for greater precision in the methodology used in the programs, considering specific climatic conditions in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Photovoltaic roofs, Temperature, Building, Renewable technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da potência FV no Brasil.	20
Figura 2 - Ranking estadual de geração distribuída no Brasil em 2022.	21
Figura 3 - Quantidade de artigos por ano encontrados na base Scopus, para o tema “Photovoltaic generation” e “Buildings”.	27
Figura 4 - Produção científica por países relacionada ao tema entre 2000 e 2020.	28
Figura 5 - Produção científica no Brasil relacionada ao tema entre 2000 e 2020.	29
Figura 6 - Produção científica por instituições brasileiras relacionada ao tema pesquisado entre 2000 e 2020.	30
Figura 7 - Percentuais dos tipos de aplicação dos sistemas FV das bibliografias citadas.	36
Figura 8 - Publicações anuais no mundo para o tema em estudo durante o período de 2000 a 2020.	41
Figura 9 - Produção científica por países relacionada ao tema pesquisado entre os anos de 2000 a 2020.	42
Figura 10 - Produção científica no Brasil relacionada ao tema entre 2000 e 2020.	43
Figura 11 - Produção científica por instituições brasileiras relacionada ao tema pesquisado entre 2000 e 2020.	43
Figura 12 - Diagrama do Uso das Ferramentas Computacionais para Simulação.	49
Figura 13 - Gerenciamento de Simulação por Módulos do EnergyPlus.	51
Figura 14 - Localização do LEA-UFC.	52
Figura 15 - Planta FV instalada no LEA-UFC e conectada à rede do Campus do Pici.	53
Figura 16 - Inversor PHB 1500-SS conectado à planta FV do LEA.	54
Figura 17 - Quadro de proteção da planta FV do LEA.	55
Figura 18 - CLP instalado no LEA.	56
Figura 19 - Conexão de 3 fios do Sensor PT-100.	57
Figura 20 - Transmissor NOVUS TxRail.	57
Figura 21 - Conexão do sensor de temperatura PT-100.	58
Figura 22 - Sensor de temperatura PT-100 na laje interna do LEA.	58
Figura 23 - Sensor de temperatura PT-100 no ponto mediano interno da edificação.	59
Figura 24 - Dados coletados pelo sistema e exportados no formato .xls.	60
Figura 25 – Modelo volumétrico da edificação sem cobertura FV desenvolvido no SketchUp.	62
Figura 26 - Modelo volumétrico da edificação com cobertura FV desenvolvido no	

SketchUp.	63
Figura 27- Temperatura interna da laje coberta com FV, temperatura interna da laje sem cobertura FV e temperatura ambiente externa para o dia representativo de outubro, 09/10/2019.....	69
Figura 28 - Temperatura interna da laje coberta com FV, temperatura interna da laje sem cobertura e da temperatura ambiente externa para o dia representativo de novembro, 08/11/2019.....	69
Figura 29 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e da temperatura ambiente externa para o dia representativo de dezembro, 21/12/2019.....	70
Figura 30 - Amplitude térmica média da laje, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo do mês de outubro de 2019.....	71
Figura 31 - A amplitude térmica média da laje, quando comparada com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e do dia representativo em novembro de 2019.....	72
Figura 32 - A amplitude térmica média da laje, quando comparada com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e do dia representativo em dezembro de 2019.....	72
Figura 33 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de janeiro, dia 06/01/2020.....	76
Figura 34 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de março, dia 21/03/2020.....	76
Figura 35 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de abril, dia 13/04/2020.	77
Figura 36 - Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em janeiro de 2020.....	78
Figura 37 -Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em março de 2020.....	79
Figura 38 - Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado	

com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em abril de 2020.79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características das bibliografias citadas sobre geração FV e edificações.....	37
Tabela 2 - Principais características das bibliografias citadas sobre geração FV e a temperatura em edificações.....	47
Tabela 3 - Elementos construtivos da edificação.....	64
Tabela 4 - Propriedades Térmicas dos Materiais.....	64
Tabela 5 - Propriedades Térmicas do Vidro.....	64
Tabela 6- Dados de temperatura interna da laje do LEA em outubro de 2019.....	67
Tabela 7 - Dados de temperatura interna da laje do LEA em novembro de 2019.....	67
Tabela 8- Dados de temperatura interna da laje do LEA em dezembro de 2019.....	68
Tabela 9- Dados de temperatura ambiente interna média do LEA em janeiro de 2020.....	73
Tabela 10- Dados de temperatura ambiente interna do LEA em março de 2020.....	74
Tabela 11 - Dados de temperatura ambiente interna do LEA em abril de 2020.....	75
Tabela 12 - Dados simulados de temperatura ambiente interna do LEA no período de outubro/2019 a setembro/2020.....	80
Tabela 13 - Dados simulados de umidade interna do LEA no período de outubro/2019 a setembro/2020.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
AUE	Anuidade Uniforme Equivalente.
BT	Baixa tensão.
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaics.</i>
C.A.	Corrente Alternada.
CAE	Custo Anual Equivalente.
C.C.	Corrente Contínua.
CCA	Centro de Ciências Agrárias.
CEMPA	Centro Educacional Municipal de Paulo Afonso.
CLP	Controlador Lógico Programável.
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica.
CPF	Cadastro De Pessoas Físicas.
CPU	<i>Central Processing Unit.</i>
DOE	<i>Department of Energy</i> - Departamento de Energia dos EUA.
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate.</i>
EUA	Estados Unidos da América.
FV	Fotovoltaico.
GD	Geração Distribuída.
HFP	Horário Fora de Ponta.
ICA	Instituto de Cultura e Arte.
ICU	Ilha de Calor Urbano.
IEA	<i>International Energy Agency.</i>
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco.
IPHAE	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado.
IPREDE	Instituto de Primeira Infância.
IS	Índice de Sombreamento.
LEA	Laboratório de Energias Alternativas.
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration.</i>
NEPAU	Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana.
RTD	<i>Resistance Temperature Detectors</i> - Detector de Temperatura por Resistência.

RU	Restaurante Universitário.
TIR	Taxa Interna de Retorno.
UnB	Universidade de Brasília.
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas.
UFC	Universidade Federal do Ceará.
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco.
UFRS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UFPA	Universidade Federal do Pará.
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria.
USP	Universidade de São Paulo.
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
VPL	Valor Presente Líquido.
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> - Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável.

LISTA DE SÍMBOLOS

Cd	Cádmio
CdTe	Telureto de cádmio
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
Cu(InGa)Se ₂	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
μc-Si	Silício microcristalino
n-Si	Silício nano-amorfo
p-Si	Silício policristalino
Se	Selênio
Si	Silício
US\$	Dólar americano
β	Inclinação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Motivação.....	22
1.2 Justificativa do Tema	22
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 Estrutura da dissertação.....	24
2 ESTADO DA ARTE DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS INTEGRADAS ÀS EDIFICAÇÕES	25
2.1 Integração da geração FV em edificações	25
2.1.1 Pesquisas acadêmicas envolvendo geração FV e edificações	26
2.1.2 Geração FV em edificações: experiências no mundo e no Brasil	30
2.1.3 Análise da bibliografia pesquisada	35
2.2 Aplicação FV em edificações e impacto térmico	40
2.2.1 Pesquisas acadêmicas envolvendo geração FV e a temperatura em edificações	41
2.2.2 Sistemas FV e a temperatura em edificações: experiências no mundo e no Brasil	43
2.2.3 Análise da bibliografia pesquisada	46
2.3 Simulação computacional.....	48
2.3.1 SketchUp.....	49
2.3.2 OpenStudio	49
2.3.3 EnergyPlus	50
3 MATERIAIS.....	52
3.1 Laboratório utilizado	52
3.2 Planta FV.....	53
3.3 Inversor.....	54

3.4	Proteção do sistema FV	54
3.5	Sistema de aquisição de dados	55
3.6	Formulação matemática	60
3.6.1	Temperatura média horária	60
3.6.2	Temperatura média diária	60
3.6.3	Temperatura média mensal	61
3.6.4	Desvio-padrão amostral	61
3.7	Simulação computacional	61
3.7.1	Modelo volumétrico – SketchUp	62
3.7.2	Características da modelagem da edificação	63
3.7.3	Parâmetros construtivos no Open Studio	64
3.7.4	Simulação no EnergyPlus	65
4	RESULTADOS	66
4.1	Temperatura interna da laje do LEA	66
4.2	Temperatura ambiente interna do LEA	73
4.3	Temperatura e umidade simuladas no EnergyPlus	80
5	CONCLUSÕES	82
	TRABALHOS FUTUROS	84
	ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO	85
	REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO

Diversas mudanças vêm ocorrendo no contexto energético mundial que afetam significativamente os recursos naturais do planeta. Algumas estatísticas demonstraram que as emissões de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera aumentaram quase 80% nas últimas três décadas, decorrentes da industrialização e do aumento populacional, e aproximadamente 65% de todas as emissões de gases de efeito estufa estão atribuídas ao fornecimento e uso de energia (IEA, 2018).

O aumento da urbanização em todo o mundo está ocorrendo em um ritmo sem precedentes e tem provocado um crescimento significativo na quantidade de edificações, especialmente nos centros urbanos. Estima-se que até 2050, cerca de 70% da população mundial estará localizada em centros urbanos e que o tempo de permanência destas pessoas dentro de edificações deverá aumentar. Este fato influencia diretamente na utilização de sistemas artificiais de iluminação e climatização para assegurar conforto ambiental aos usuários (RUPP et al., 2015).

Segundo Jonsson e Roos (2010), os edifícios são responsáveis pelo dispêndio de 30% a 40% de toda a energia primária consumida no mundo. Para garantir o conforto térmico (arrefecimento ou aquecimento), os mesmos chegam a produzir mais emissões de carbono do que o setor de transportes (WBCSD, 2008).

Elliott (2000) destaca que a implantação de plantas de energia renovável requer um novo paradigma de produção de energia descentralizada e pequenos sistemas de produção. A implementação destas plantas precisará de mudanças sociais e institucionais, mesmo que a tecnologia para esses sistemas já exista. É necessário financiamento, políticas de incentivo e obrigações estatutárias sobre os fornecedores de eletricidade para desenvolver a geração mais rapidamente (GROSS; LEACH; BAUEN, 2003).

Diariamente incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do Sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em um ano todo. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico (FV) tem se apresentado como uma das mais usadas formas de gerar eletricidade (RÜTHER, 2004).

A geração FV é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. Seu primeiro uso foi registrado em 1839 quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel realizava algumas experiências com eletrodos. É descrito como o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida

pela absorção da luz, ou seja, no momento da interação da radiação solar com o material semicondutor, ocorre a liberação de elétrons por este material, gerando assim essa diferença de potencial (CRESESB, 2014).

Uma célula FV é um dispositivo elétrico de estado sólido capaz de converter a irradiação solar em energia elétrica. Um conjunto de células solares interligadas em um encapsulamento protegido ambientalmente denomina-se módulo FV. A maior parte utiliza células solares de silício com encapsulamento frontal de polímero termoplástico transparente, eletricamente isolado e com alta resistência mecânica e à degradação pela irradiação solar. Este encapsulante é normalmente fabricado em EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*), o qual é aplicado diretamente sobre a superfície das células FV e coberto por vidro temperado (texturizado ou não) podendo diminuir a reflexão solar (TORRES, 2012).

Os sistemas FV são atualmente divididos em duas grandes categorias: os sistemas autônomos e os conectados à rede elétrica. Os sistemas autônomos são concebidos para responder às necessidades de um consumidor isolado da rede elétrica. Estes sistemas são constituídos geralmente de elementos de armazenamento, principalmente por baterias recarregáveis, a fim de adaptar a produção FV com a demanda (ZOMER et al., 2011).

A conexão de um sistema FV na rede elétrica possui a vantagem de não necessitar de elementos de armazenamento, o que diminui os custos e ainda eleva a confiabilidade do sistema, já que nos momentos de carência de irradiação solar a edificação pode utilizar a energia da rede elétrica. A geração de eletricidade próxima ao ponto de consumo traz benefícios tanto para as companhias de energia elétrica quanto para os consumidores, ambos interessados em geração distribuída (GD), mas em perspectivas diferentes. Para as companhias a principal vantagem é a possibilidade de gerar eletricidade e vender para os consumidores utilizando a infraestrutura de rede já existente. No ponto de vista dos usuários da rede, a vantagem é poder utilizar a rede elétrica como uma alternativa de segurança (BIYIK; KAHRAMAN, 2019).

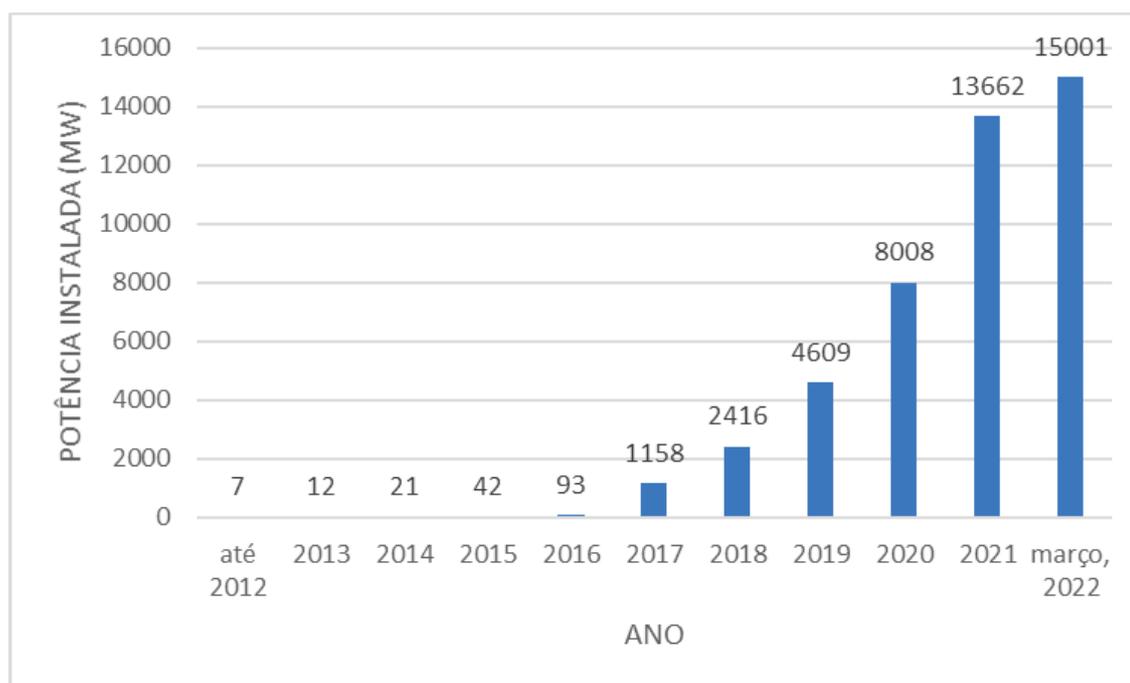
Pode citar-se como desvantagens do sistema FV o alto custo de aquisição, a dependência climática, o fato de não produzir energia durante a noite e as formas de armazenamento da energia solar serem pouco eficientes quando comparadas com os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) (BARRETO, 2017).

Os primeiros casos de aplicação no Brasil são da década de 1980, em que foram implementados sistemas FV para bombeamento a fim de irrigar culturas como uva, banana, laranja e afins (BIONE, 2006). No entanto, o ingresso oficial dessa fonte de energia ao sistema de distribuição de energia elétrica brasileiro se deu a partir da Resolução Normativa

Nº 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em que foram estabelecidas as condições gerais para o acesso da microgeração e da minigeração distribuída. Desde então a utilização da fonte solar FV cresce de forma exponencial, passando de 7 MW (Megawatt) de potência instalada em 2012 para 15000 MW em março de 2022, conforme Figura 01 (ABSOLAR, 2022).

O Brasil atingiu o patamar de 15 GW de capacidade FV instalada acumulada em março de 2022, com capacidade adicionada de 1,3 GW em relação ao ano de 2021. Atualmente ocupa a 13º posição no *ranking* mundial, uma posição acima em relação ao ano anterior, mantendo um crescimento contínuo. Além disso, a geração FV gera mais de 450 mil novos empregos no país, 21,74 bilhões de reais em arrecadação de tributos e evita a emissão de 20,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono (ABSOLAR, 2022).

Figura 1 - Evolução da potência FV no Brasil.



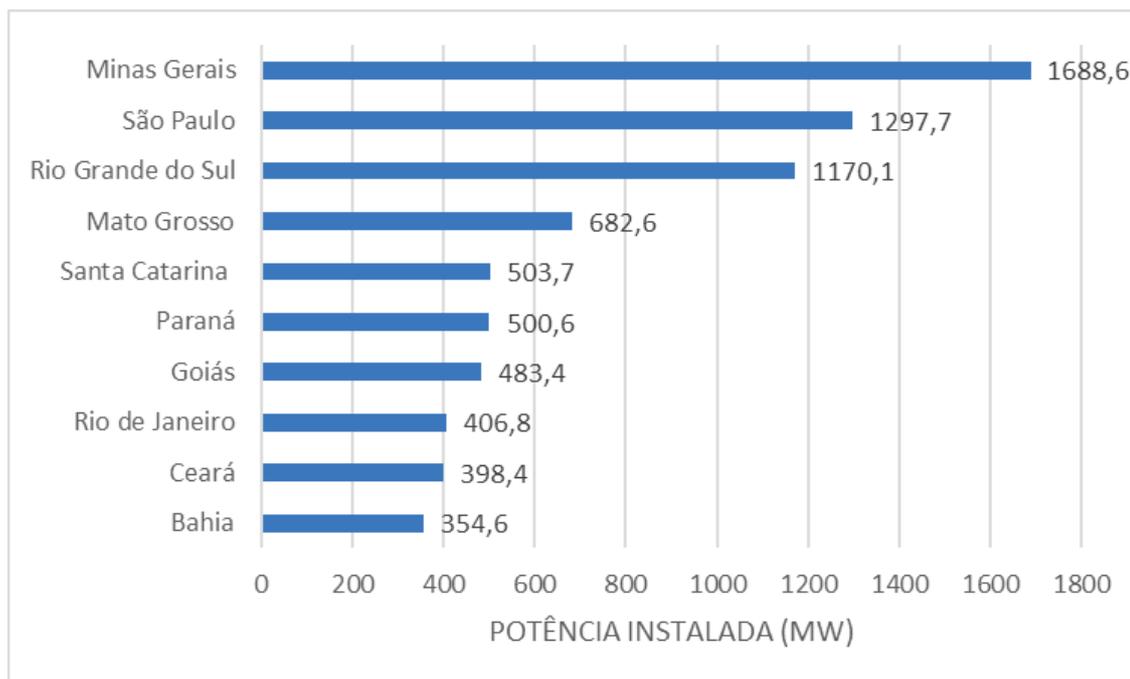
Fonte: Adaptado de ABSOLAR, 2022.

No Brasil 99,9% de todas as conexões de micro e minigeração distribuída são FV. Além disso, 98,8% do total da potência instalada em 2022 é de geração distribuída. Em março de 2022, são 930.833 sistemas FV conectados à rede e 1.173.889 unidades consumidoras recebendo créditos pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ABSOLAR, 2022).

Atualmente, em 2022, Minas Gerais possui a maior potência instalada em geração

distribuída do Brasil e lidera o *ranking* estadual brasileiro com 1688,6 MW (16,8%), seguido de São Paulo com 1297,7 MW (12,9%), Rio Grande do Sul com 1170,1 MW (11,7%), Mato Grosso com 682,6 MW (6,8%) e Santa Catarina com 503,7 MW (5,0%). O Ceará está em 9º lugar com potência instalada de 398,4 MW (4%), como pode ser observado na Figura 02 (ABSOLAR, 2022).

Figura 2 - Ranking estadual de geração distribuída no Brasil em 2022.



Fonte: Adaptado de ABSOLAR, 2022.

As instalações FV têm baixo impacto ambiental em relação a outros sistemas de energia, incluindo outras energias renováveis. Além disso, a geração FV também é uma das poucas fontes de energia renovável que pode ser implementada em larga escala nas cidades (HERNANDEZ et al. 2014).

Módulos FV, devido sua área e peso reduzido, podem ser aplicados à envoltória ou telhado da edificação, gerando energia elétrica no próprio local de consumo e evitando perdas durante o processo de transmissão e distribuição. Além disso, o calor acumulado na parte posterior dos módulos pode ser dissipado por convecção ou radiação para o espaço interior e exterior, influenciando na temperatura do ambiente (VUONG; KAMEL; FUNG, 2015).

A implementação de módulos FV em residências faz parte de uma abordagem equilibrada da produção de energia elétrica, já que são um meio econômico de aumentar a

geração de eletricidade e diminuir as emissões de gases de efeito estufa (ARNETTE, 2013). Além disso, a modificação do balanço energético da superfície urbana influencia o microclima e altera a irradiação recebida pela superfície da edificação (MASSON et al., 2014).

Os sistemas FV produzem uma quantidade substancial de calor enquanto geram eletricidade. Conseqüentemente, quando são aplicados nas superfícies de edificações, têm influência significativa na quantidade de transferência de calor através dos tecidos do edifício, e pode afetar as temperaturas do ar interior e o conforto dos ocupantes (AKATA; NJOMO; MEMPOUO, 2015).

Com o possível impacto dos módulos FV sobre o desempenho térmico das edificações, a presente dissertação visa analisar essa influência a partir de módulos FV instalados na parte superior do LEA-UFC. Inicialmente é feita a aquisição de dados da temperatura da superfície da laje sob o sistema FV e da temperatura ambiente externa e interna, para a edificação com parte sombreada por módulos FV e outra sem qualquer tipo de sombreamento. A partir disso, os dados receberam tratamento estatístico e são construídos gráficos sobre a intensidade e amplitude dos mesmos. Em seguida, são realizadas simulações computacionais através da utilização dos programas SketchUp, OpenStudio e *EnergyPlus*, com ênfase em análise térmica, para avaliação do impacto da utilização de módulos FV na cobertura de uma edificação.

1.1 Motivação

O crescimento significativo na quantidade de edificações nos centros urbanos e a descentralização da geração da energia elétrica com plantas FV proporcionam a motivação da presente dissertação, com foco na influência das plantas FV na temperatura interna da edificação.

1.2 Justificativa do Tema

A presente dissertação tem um vínculo de estudo e ampliação da utilização de fontes alternativas de energia, com foco na geração FV, atrelando-se com a missão, visão e valores do Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O progresso econômico e humano necessita diretamente da disponibilidade de recursos energéticos, desse modo, a geração de eletricidade próxima ao local de consumo tende a ser um importante aliado para a atenuação de perdas significativas que ocorrem nas linhas de transmissão e distribuição de sistemas elétricos integrados e extensos. Apesar de a

principal fonte de geração de eletricidade no Brasil ser a hidráulica, que é considerada uma fonte renovável, a disponibilidade de bacias hidrográficas próximas aos grandes centros consumidores é reduzida e comprometida, principalmente pela escassez das chuvas, o que tende a afetar o consumidor com o aumento das tarifas de energia.

Por outro lado, a irradiação solar incidente no Brasil é superior aos níveis registrados em países como a Alemanha, por exemplo. Enquanto no país europeu os níveis de irradiação anual variam entre 900 – 1.250 kWh/m², no território brasileiro são registrados valores entre 1.500 – 2500 kWh/m². Os dados comprovam que as condições brasileiras são muito mais favoráveis ao aproveitamento da energia solar, o que justifica sua abrangente inserção como fonte na matriz elétrica brasileira. Ou seja, através da aplicação de sistemas FV conectados à rede elétrica, esta fonte renovável e silenciosa, pode auxiliar para a redução dos picos de demanda diurno, além de poder ser gerada junto ao ponto de consumo e não necessitar de áreas extras para a instalação dos módulos, pois podem ser integrados às edificações (BOTELHO, 2017).

A geração FV, como fonte de geração de energia elétrica, vem crescendo em escala exponencial nos últimos anos através da geração descentralizada, principalmente em edificações residenciais. Neste contexto, a presente dissertação analisa a influência da aplicação de módulos FV na temperatura interna de edificações, considerando as condições climáticas de Fortaleza, CE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência de módulos FV na cobertura de edificações sobre a temperatura interna das construções.

1.3.2 Objetivos específicos

Coletar dados de temperatura da cobertura de uma edificação sob um sistema FV em Fortaleza, CE;

Coletar dados de temperatura da cobertura exposta de uma edificação, sem um sistema FV, em Fortaleza, CE;

Coletar dados de temperatura interna de uma edificação com e sem cobertura FV, em Fortaleza, Ceará (CE);

Realizar simulações computacionais através da utilização dos programas SketchUp,

OpenStudio e *EnergyPlus*, com ênfase em análise térmica, para avaliação do impacto da utilização de módulos FV na cobertura de uma edificação;

Analisar os resultados encontrados.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos, conforme descrito abaixo:

No Capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o tema de estudo, a motivação, a justificativa e os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento desta dissertação.

O Capítulo 2 é composto pelo estado da arte, onde são apresentados conceitos e estudos já desenvolvidos sobre o tema.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada, sendo discorrido sobre cada etapa executada com o intuito de se atingir os objetivos propostos inicialmente.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões, com um comparativo entre a temperatura interna da edificação coberta com módulos FV e a temperatura interna da edificação sem cobertura FV, analisando a contribuição da planta FV para a temperatura das edificações.

Finalizando, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões da dissertação e as sugestões para trabalhos futuros que contemplem o mesmo tema de estudo. Em seguida são expostos os artigos publicados durante o mestrado e as referências.

2 ESTADO DA ARTE DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS INTEGRADAS ÀS EDIFICAÇÕES

Neste capítulo são mostrados conceitos e aspectos da geração FV em edificações no Brasil e no mundo e são apresentadas perspectivas da aplicação de módulos FV em edificações e o impacto térmico que ocorre no interior do ambiente construído. Além disso, são analisados os avanços das publicações, no mundo e no Brasil, para os temas em estudo, durante o período de 20 anos. Por fim, são exibidos atributos e ferramentas de simulação computacional que permitem estimar o comportamento térmico das edificações.

Apesar da revisão bibliográfica não abordar todas as pesquisas desenvolvidas, apresenta-se um estudo dos principais trabalhos sobre o tema, auxiliando na compreensão dos objetivos propostos.

2.1 Integração da geração FV em edificações

A tecnologia FV é uma das formas que mais tem se destacado atualmente e consiste na utilização de módulos FV que, submetidos à luz do Sol, produzem energia elétrica. Uma das grandes vantagens desta forma de geração é poder integrar-se às edificações, utilizando os módulos FV tanto sobrepostos à arquitetura existente, quanto em substituição aos materiais de vedação de coberturas e fachadas (CUSTÓDIO; RÜTHER, 2017).

O potencial de geração FV no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total de energia elétrica do país. Para exemplificar este potencial, pode-se utilizar a usina hidrelétrica de Itaipu. Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulos FV seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil. A proposta apresentada aqui, no entanto, é a integração dos módulos FV ao entorno construído dos ambientes urbanos, como anteriormente mencionado, para evitar os investimentos e as perdas por transmissão e distribuição, bem como a ocupação desnecessária de área física, utilizando-se os telhados das edificações ao invés de áreas que podem ter outras finalidades (RÜTHER, 2004).

A geração FV em edifícios possui muitas vantagens, como a geração de maneira descentralizada e próxima ao local de consumo, que minimiza as perdas por transmissão e distribuição de energia, a atuação em paralelo com grandes centrais geradoras elétricas, que ajuda a diminuir a frequência de *blackouts*, a utilização da rede elétrica pública em substituição às baterias, a participação no envelope de edificações, deixando de ocupar outras áreas, e a imagem ecológica e sustentável que traz aos edifícios (CUSTÓDIO;

RÜTHER, 2017).

No entanto, também possui diversas desvantagens como o seu elevado custo inicial de investimento, grandes áreas de instalação, produção intermitente e baixa eficiência. Além disso, em caso de falta de energia da rede, os sistemas FV conectados à rede também deixam de operar e gerar eletricidade. Isso acontece graças a um dispositivo de proteção chamado anti-ilhamento. Esse dispositivo está equipado nos inversores, que detectam a falta de energia na rede e suspendem a atividade do sistema FV até que a situação seja normalizada pela concessionária (SHARMA, et al., 2015).

No Brasil, um país de grande extensão territorial, a utilização de sistemas FV em edificações conectados à rede auxilia na redução de perdas por distribuição, comuns à geração hidrelétrica, uma vez que a eletricidade pode ser gerada no próprio local de consumo. Além disso, a geração FV pode minimizar os impactos sobre o meio ambiente, causados pela eliminação de poluentes advindos da queima de combustíveis fósseis em termelétricas e do descarte inapropriado de resíduos de usinas nucleares, que dão suporte para atender ao aumento da demanda de energia no país (FERREIRA; SCOMPARIN; CARIGNANI, 2010).

Entre os muitos benefícios dos sistemas FV, os efeitos diretos são os de fornecer eletricidade no local de consumo e os indiretos incluem evitar a geração a partir de usinas de combustível fóssil. Estes últimos se traduzem em emissões reduzidas de gases de efeito estufa e outros poluentes, como precursores de ozônio, e como consequência ocorre melhora da qualidade do ar (TAHA, 2013).

A inserção da geração FV no ambiente urbano não ocorre somente para uso residencial, mas, também, em edificações comerciais e industriais. Muitas vezes, os picos de consumo desses setores ocorrem nos períodos mais quentes do dia, devido ao aumento do consumo para climatização de ambientes. Sendo assim, a geração FV se torna extremamente favorável, pois são também nesses períodos que ocorre a maior incidência de irradiação e, conseqüentemente, uma maior geração de energia, fato que auxilia na redução da sobrecarga da rede e suprindo a demanda extra (RÜTHER; SALAMONI, 2011).

2.1.1 Pesquisas acadêmicas envolvendo geração FV e edificações

Pesquisas acadêmicas estão sendo desenvolvidas e publicadas com o intuito de promover a expansão da geração FV em edificações, a fim de melhorar as condições de seu uso, além da busca diária pela inovação neste setor de estudo, assim, buscando a melhoria e aumento de confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

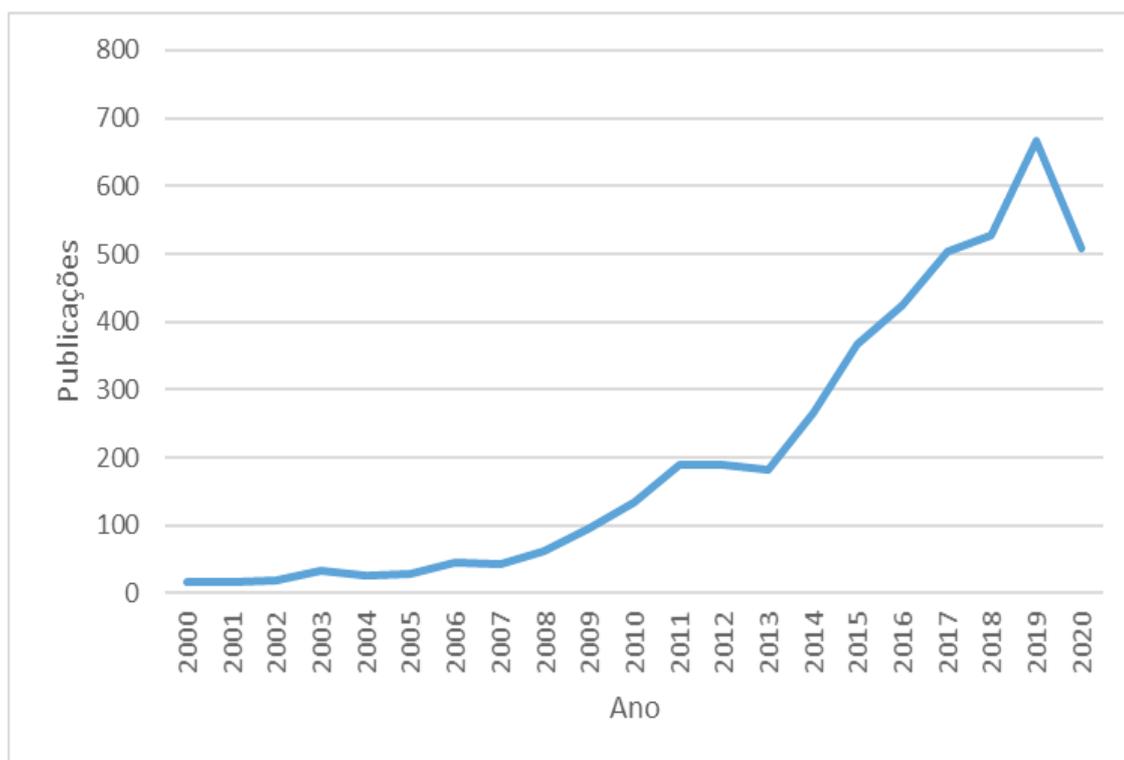
A base de dados da Scopus possui o maior banco de dados de resumos e citações da literatura. Oferece um panorama abrangente da produção de pesquisas do mundo nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades.

Realizando uma busca em inglês das palavras chaves “Photovoltaic generation” e “Buildings” na base Scopus foi possível se ter uma visão das publicações nos últimos anos. Foram encontradas 4347 publicações entre os anos de 2000 a 2020. Utilizou-se “and” como critério booleano, na relação de todos os descritores.

Na Figura 3 é mostrado o número de publicações anuais no mundo que correspondem aos resultados da busca na base Scopus para as palavras-chave durante o período de 21 anos.

As pesquisas tiveram um aumento gradativo ao longo dos anos até o ano de 2011, quando as pesquisas tiveram uma variação pouco significativa em relação ao número de publicações, tendo voltado a crescer em 2014 e alcançado um pico na quantidade de publicações no ano de 2019. Esse grande número de publicações nas duas últimas décadas ocorreu por conta de maiores incentivos para inserção da geração FV na matriz energética mundial.

Figura 3 - Quantidade de artigos por ano encontrados na base Scopus, para o tema “Photovoltaic generation” e “Buildings”.

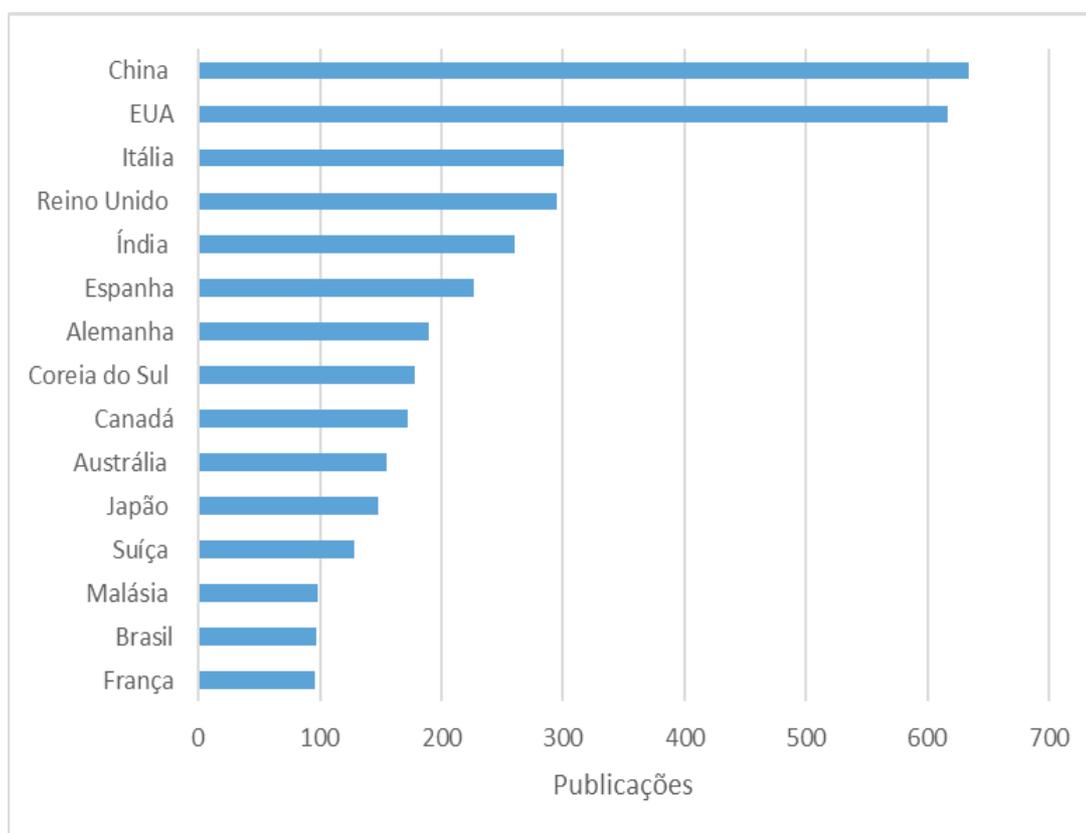


Fonte: Adaptado do Scopus.

Os países que tiveram maior número de publicações com o tema, entre 2000 e 2020, estão mostrados na Figura 4. A China lidera o ranking com 634 publicações, seguida pelos Estados Unidos, Itália, Reino Unido e Índia com 617, 301, 295 e 260 publicações, respectivamente. O Brasil está em décimo quarto lugar, tendo 97 publicações neste período. O Brasil ainda está muito atrás na área de pesquisas neste tema em relação à China, Estados Unidos e Índia, refletindo-se, assim, na discrepância desta quantidade de publicações.

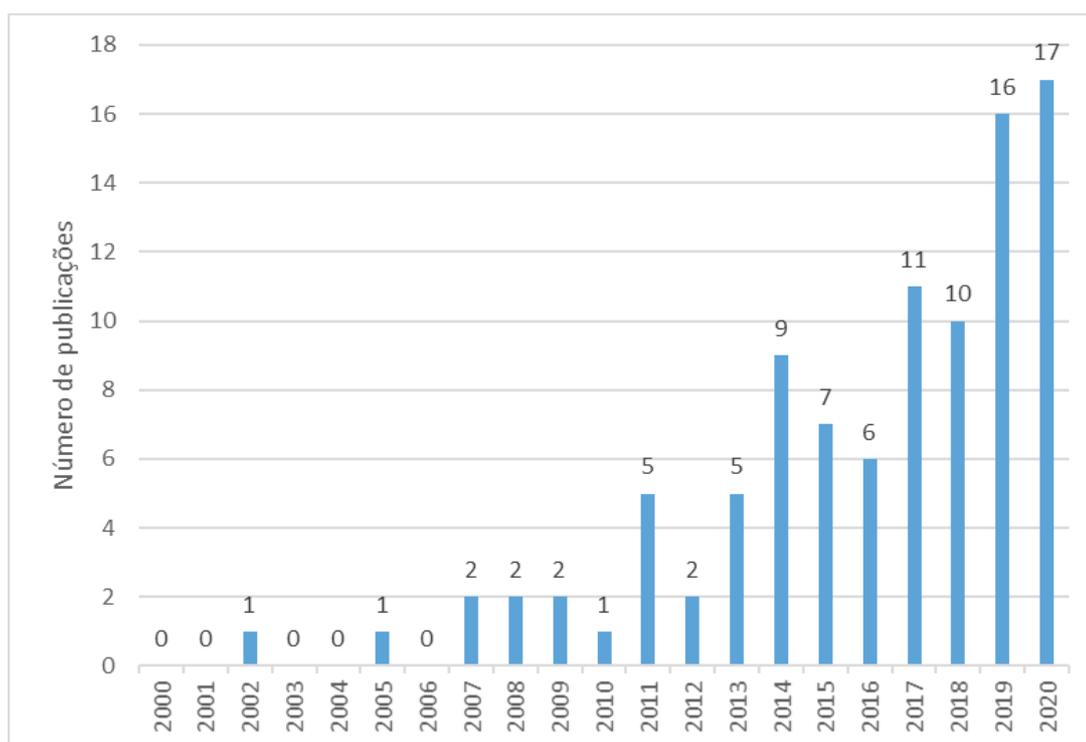
No Brasil, dois aumentos expressivos nos números de publicações com o tema sobre geração FV e edificações podem ser notados. O primeiro aumento expressivo das quantidades de publicações ocorreu em 2011, um ano antes de ser lançada a Resolução Normativa 482/2012, quando as bases para esta norma e o incentivo a este tipo de geração estavam sendo consolidados no país. O segundo aumento ocorreu em 2017, após o lançamento da Resolução Normativa 687/2015, que ampliou o acesso à GD. Na Figura 5 é mostrada a distribuição das 97 publicações do Brasil ao longo dos anos.

Figura 4 - Produção científica por países relacionada ao tema entre 2000 e 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

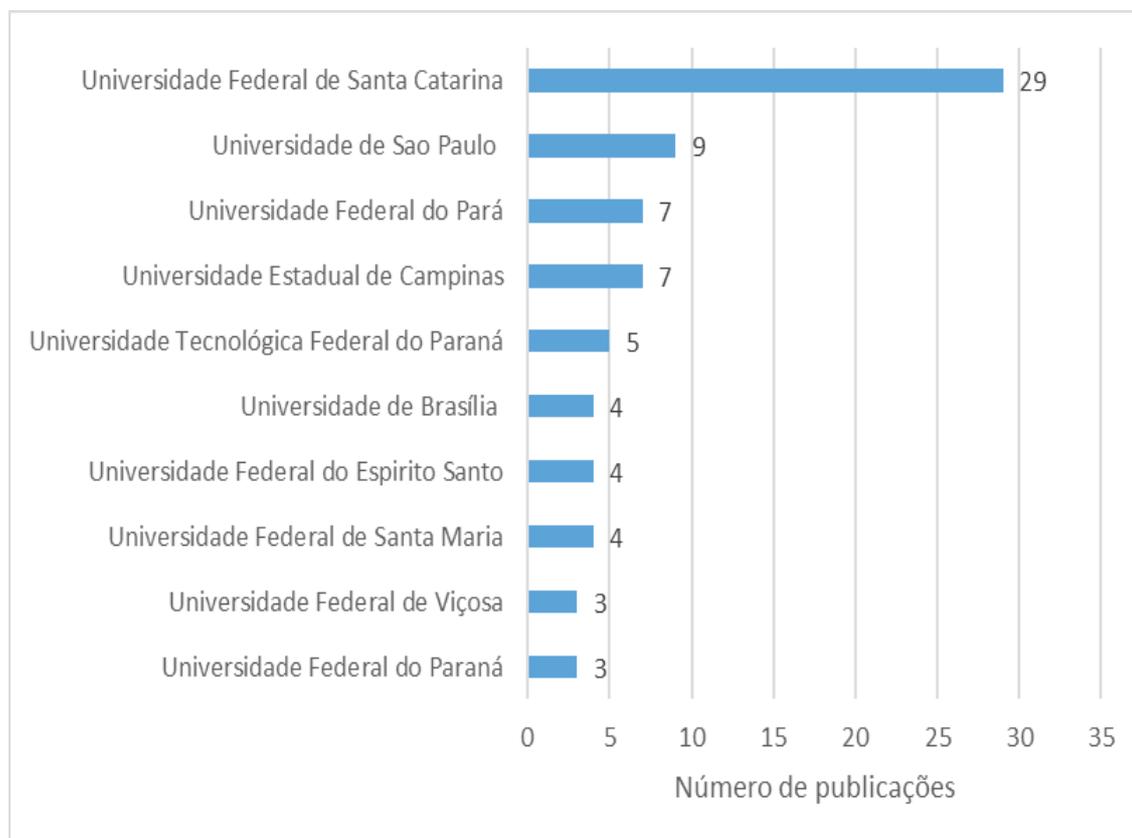
Figura 5 - Produção científica no Brasil relacionada ao tema entre 2000 e 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

As instituições brasileiras que tiveram maior número de publicações relacionadas com o tema estão exibidas na Figura 6. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) lidera o ranking com 29 publicações e sua hegemonia neste setor de publicação está longe de ser ameaçada pelas posições subsequentes. Em seguida vem a Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com 9, 7, 7 e 5 publicações, respectivamente. Embora a Universidade Federal do Ceará (UFC) não apareça na pesquisa feita na base do Scopus, a instituição conta com diversas pesquisas na área e várias delas foram referenciadas no presente estudo.

Figura 6 - Produção científica por instituições brasileiras relacionada ao tema pesquisado entre 2000 e 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

2.1.2 Geração FV em edificações: experiências no mundo e no Brasil

Em um edifício as análises climáticas e de construção podem contribuir no desempenho energético final. É conveniente trabalhar nas reduções das necessidades energéticas a fim de obter um edifício de baixo consumo energético e com baixas taxas de emissões de CO_2 (SALAMANCA, 2016).

Como a geração de energia elétrica de um sistema FV em uma edificação residencial é limitada, devido às dimensões do telhado, a regra geral é reduzir a demanda de eletricidade. Isto minimiza o requerimento e a área requerida para geração (ARNETTE, 2013).

A área necessária para a instalação de sistemas FV em edificações residenciais unifamiliares é muito pequena (aproximadamente 20 m^2) e possui elevado potencial de aproveitamento, viabilizando desse modo a sua inserção no ambiente urbano (TORRES, 2012).

As tecnologias de geração podem ser empregadas para gerar energia térmica, com os

coletores solares térmicos, ou energia elétrica, com sistemas eólicos ou solares FV ou ainda produzir energia térmica e energia elétrica ao mesmo tempo na edificação, com os sistemas solares FV híbridos, que combinam células FV e coletores solares térmicos no mesmo dispositivo (LAMBERTS, 2010).

Uma instalação solar FV integrada a uma edificação e conectada à rede elétrica é composta por vários componentes, incluindo módulos FV, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema de conversão C.C.- C.A. (inversor) e dispositivos elétricos de proteção e acionamento (RÜTHER, 2004).

A otimização das aplicações envolvendo sistemas solares FV integrados em edificações é função de muitas variáveis, dentre elas, os métodos de construção e materiais, tecnologia FV e fabricação dos módulos, níveis de irradiação solar e orientação. Estas variáveis são projetadas e escolhidas de acordo com as condições climáticas locais, da parcela de energia gerada e do período do ano onde se pretende gerar mais energia. O aumento da intensidade da luz incidente no módulo FV aumenta a temperatura das células, diminuindo a tensão do módulo, e conseqüentemente reduzindo sua eficiência. Desta forma, a escolha dos módulos instalados na cobertura deve ser determinada pelo seu comportamento térmico (ALVORCEM e SANTOS, 2018).

Schneider, Sorgato e Rüter (2018) avaliam a viabilidade técnica da aplicação de módulos FV em fachadas opacas em um edifício em Florianópolis – SC. Os resultados mostram que, para que a aplicação de um sistema FV em fachadas em substituição a materiais convencionais de revestimento se torne economicamente atrativo em relação a um sistema FV aplicado na cobertura e que atenda toda a demanda energética da edificação, é preciso que o sistema FV da fachada atenda mais do que 50% dessa demanda.

Torres (2012) estuda a inserção de sistemas FV conectados à rede elétrica pública e integrados em edificações residenciais urbanas. Para tanto, foram dimensionados sistemas para três residências situadas em diferentes regiões brasileiras, e que possuem as mesmas características construtivas e o mesmo consumo médio mensal de energia elétrica. Uma das premissas consideradas foi a autossuficiência energética das edificações apenas utilizando o recurso solar como fonte de geração. As cidades escolhidas para a análise foram Porto União/SC, São Carlos/SP e Petrolina/PE por possuírem diferenças significativas nos níveis de irradiação solar, representando desta forma os extremos encontrados no território brasileiro. Considerando um período de vida útil de um sistema FV como sendo estimado em 25 anos, os resultados demonstraram que todos os sistemas seriam pagos antes desse período. A partir dos dimensionamentos, foi possível concluir ainda que a área requerida

para a instalação de sistemas FV em residências é muito pequena e possui elevado potencial de aproveitamento, viabilizando desse modo a sua inserção no ambiente urbano.

Costa (2018) estima o potencial de GD FV conectada à rede em setores do Campus do Pici/UFC, através de dados coletados no período de um ano. A geração de eletricidade média mensal obtida é capaz de suprir 93,29% do valor do consumo de energia elétrica no horário fora de ponta (HFP) e reduz a emissão de CO_2 em 94.736,86 kg/mês. O prazo de retorno do investimento da GD FV é de quatro a seis anos.

Freitas (2018) verifica, utilizando a metodologia BIM, que a geração FV nos blocos do Instituto de Cultura e Arte (ICA), no Centro de Convivência e no Restaurante Universitário (RU) da UFC causa uma redução equivalente de CO_2 de 266,84 toneladas e que o retorno do investimento é de apenas dois anos e meio.

Costa (2017) utiliza os softwares RETScreen e SketchUp para dimensionar e analisar a viabilidade de um sistema FV conectado à rede e incorporado à arquitetura do Instituto de Primeira Infância (IPREDE). Levando em consideração a área disponível e o sombreamento, o sistema simulado mais eficiente abastece 50% da demanda de energia elétrica do prédio e possui potência de 47,74 kWp, ocupando uma área de 341 m², com custo de R\$ 294.140,00 e tempo de retorno de aproximadamente 5 anos e 4 meses.

Barreto (2017) dimensiona e analisa a viabilidade para a implementação de GD FV em um shopping center de Fortaleza - CE. A área disponível para implementação do projeto FV é de 3188,11 m² e um estudo de sombreamento é realizado, com a ajuda do programa SketchUP. Com base na área disponível e nos dados da demanda do shopping, 5500 kW, foi obtido payback de 7 anos e 7 meses e Valor Presente Líquido de R\$ 3.356.873,00.

Alvorcem e Santos (2018) analisam a adequação de um sistema FV em edificação tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado (IPHAE), na cidade de Santa Maria-RS. Foram simulados dois cenários: o cenário 1 mostra que seria possível a geração da totalidade da demanda de energia de edificação, em um sistema instalado com inclinação igual a latitude da cidade e orientado para o Norte geográfico. O cenário 2 mostra que, o posicionamento de módulos na cobertura da edificação, considerando sua inclinação e orientação real, supre 75% do consumo, o que já seria uma contribuição significativa para diminuição do gasto financeiro com energia elétrica, além da contribuição à sustentabilidade da edificação.

Gouveia (2018) avalia a viabilidade de um sistema FV na forma de uma árvore solar na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UnB), com o auxílio das ferramentas computacionais SketchUp e PVsyst. O local possui taxa de irradiação de 5,33

kWh/m², gera 2168 kWh/ano e apresenta um custo de instalação de R\$ 17.712,00.

Zomer e Rüther (2018) avaliam um método que identifica e quantifica o sombreamento em uma superfície, relacionando a fração de área sombreada com o percentual de redução da irradiação global incidente no mesmo período, chamado de índice de sombreamento (IS), que traduz as perdas na geração. Os resultados mostram que ao se adotar o percentual de sombreamento anual para estimar as perdas em um sistema FV, o projetista superestima suas perdas. Esse fato por si só já é positivo ao sistema FV, pois indica que mesmo com percentuais de sombreamento anuais elevados, estas superfícies ainda recebem uma boa quantidade de irradiação solar incidente.

Custódio et al. (2018) apresentam critérios para nortear as decisões tomadas na elaboração de projetos FV e estimam a contribuição energética do gerador para o consumo de energia do Centro de Eventos do Estacionamento Solar de Florianópolis em 1 MWp. Os resultados mostram que o estacionamento passaria a ter mais vagas para veículos do que a situação atual, e a energia gerada pode suprir a atual demanda total e ainda exportar no mínimo 70% da energia gerada para outras unidades consumidoras sob o mesmo Cadastro De Pessoas Físicas (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) através do sistema de compensação de energia regulamentado pela ANEEL.

Dolla et al. (2018) estimam a contribuição energética e o desempenho de um sistema FV hipotético de 2 MW conectado à rede e integrado à arquitetura do anteprojeto do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional de Florianópolis. Os resultados estimam uma produção de energia elétrica anual de 2.235 MWh, onde o sistema FV é capaz de suprir 87,4% do consumo do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional de Florianópolis no ano de 2016 ou 58,5% do consumo total de energia elétrica do aeroporto daquele ano. Os módulos FV oferecem grande potencial de aproveitamento quando integrados às edificações como aeroportos, livres de sombreamento e com grande demanda de energia elétrica.

Haas, Rohr e Santos (2018) analisam a implantação de módulos FV para geração de energia elétrica em escolas da cidade de Cruz Alta/RS. São descritos três cenários, onde no primeiro são consideradas coberturas planas com 9° de inclinação; no segundo, coberturas curvas e sua total capacidade de geração; e no terceiro, coberturas curvas de modo a suprir somente a demanda das escolas. Obteve-se que as coberturas curvas possibilitam a concentração da geração em menos pontos devido às suas grandes dimensões e viabilizam a utilização total da capacidade de modo a aumentar a geração do sistema, o que possibilitaria suprir a demanda de outros edifícios públicos. A iniciativa da utilização de energias renováveis em edifícios públicos além de incentivar a popularização do uso dessa energia

como alternativa sustentável, apresenta benefícios econômicos à cidade.

Rodrigues et al. (2018) analisam o impacto do sombreamento, através do uso de cabos elétricos multiplexados, em quatro módulos FV de maneira experimental. Dois módulos foram submetidos à condição de sombreamento e os outros dois operam normalmente. Pôde-se observar que em condições normais de operação os pares de módulos de potência nominal 230 W tiveram uma variação na produção diária de 0,24% a 0,86% e no par de módulos de potência nominal de 245 W a variação foi de 0,09% a 0,1%. Quando realizado o sombreamento com os cabos elétricos constatou-se que a sombra só era efetiva, e como consequência, só causava redução de potência, a partir de irradiância de 600 W/m², com perdas de 2 a 4 W para o módulo de 230 W e 10 a 20 W para o módulo de 245 W.

Ruviaro, Sperandio e Lucchese (2018) avaliam a influência da temperatura na geração de um módulo FV, relacionando uma geração real versus uma geração estimada em uma edificação educacional pública localizada na cidade de Santa Maria – RS. Foi observado que a relação entre a geração real e a estimada não se apresenta de maneira uniforme ao longo do ano. Nos meses mais quentes ocorre perda da eficiência dos módulos FV, como função de sua temperatura, apresentado pela relação da sua geração real de energia que é superior à estimada. No período frio, esta relação se inverte devido à menor irradiância solar incidente nos módulos. Já a sujidade dos módulos influencia na redução de eficiência na ordem de 5%.

Krasnhak e Urbanetz Junior (2018) mostram que a substituição das lâmpadas e refletores tradicionais por equipamentos de LED proporcionam uma redução de 39,53% no consumo energético do sistema de iluminação da edificação e apresentam uma durabilidade quatro vezes maior em relação aos equipamentos tradicionais. Se esse *retrofit* no sistema de iluminação artificial for feito em conjunto com o sistema FV conectado à rede (SFVCR), é possível obter uma economia de 95,52% de energia face à situação atual do sistema de iluminação; este percentual pode ser ampliado com a utilização de sensores de presença.

Reis e Jota (2018) analisam possíveis configurações para sistemas locais de geração e do uso de armazenadores de energia em um edifício no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Com o objetivo de reduzir o consumo de energia adquirida da concessionária local, foi feito um projeto para melhoria de um sistema de GD com adição de uma fonte complementar e de elementos armazenadores de energia. O arranjo mais vantajoso entre os modelos propostos foi o sistema FV com baterias, ainda é um sistema caro para ser implantado.

Paris Junior et al. (2018) apresentam um levantamento da legislação, de dados e da

perspectiva existente para o modelo de geração compartilhada, baseado em uma análise comparativa dos dados obtidos por meio de pesquisas bibliográficas e de informações disponíveis na ANEEL e outras instituições. Foi observado que com a aplicação de políticas de incentivos governamentais, as conexões de micro e minigeração aumentaram em todos os estados brasileiros. No entanto, o modelo de geração compartilhada ainda está sendo lentamente implantado, possuindo 42 empreendimentos cadastrados na ANEEL, com 88% referindo-se às plantas FV.

Moreira, Bastos e Santos (2018) apresentam um estudo comparativo de critério de decisão para escolha de sistemas de microgeração distribuída entre sistemas FV e aerogeradores, baseada entre os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR), Anuidade Uniforme Equivalente (AUE), Custo Anual Equivalente (CAE) e Payback. Tais métodos são aplicados como auxílio para tomada de decisões sobre alternativas de investimento. O estudo mostra que para 2 kW de potência, o sistema FV é sempre recomendável em relação a aerogeradores, isto porque os sistemas FV apesar de mais onerosos, têm durabilidade em torno de 10 anos e não possuem peças móveis que oneram sua manutenção.

Cascaes e Rodrigues (2018) avaliam a viabilidade do uso de sistemas FV conectados à rede na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), estudando seu potencial de geração de energia elétrica e consequente impacto no consumo da Universidade. A geração simulada, a partir de imagens de satélite e softwares livres, mostrou o potencial para gerar 13% da energia elétrica consumida pela UFRS ao longo de um ano, em um arranjo de 2,13 MWp. Além das vantagens financeiras para o usuário, o sistema de GD permite a troca bilateral de energia entre usuário e distribuidora, reduzindo assim os gastos em infraestrutura de transmissão, que é uma das principais fontes de perda de energia. Desta forma, com os recentes incentivos fiscais, esta área se torna cada vez mais viável.

Silva et al. (2018) realizam o dimensionamento e um estudo de viabilidade de um sistema FV conectado à rede para o Centro Educacional Municipal de Paulo Afonso (CEMPA). Como resultados principais, dimensionou-se um sistema de 37,4 kWp com geração estimada de 54993,56 kWh/ano. O valor do sistema foi orçado em R\$ 195.988,80 com retorno do investimento em aproximadamente sete anos e sete meses.

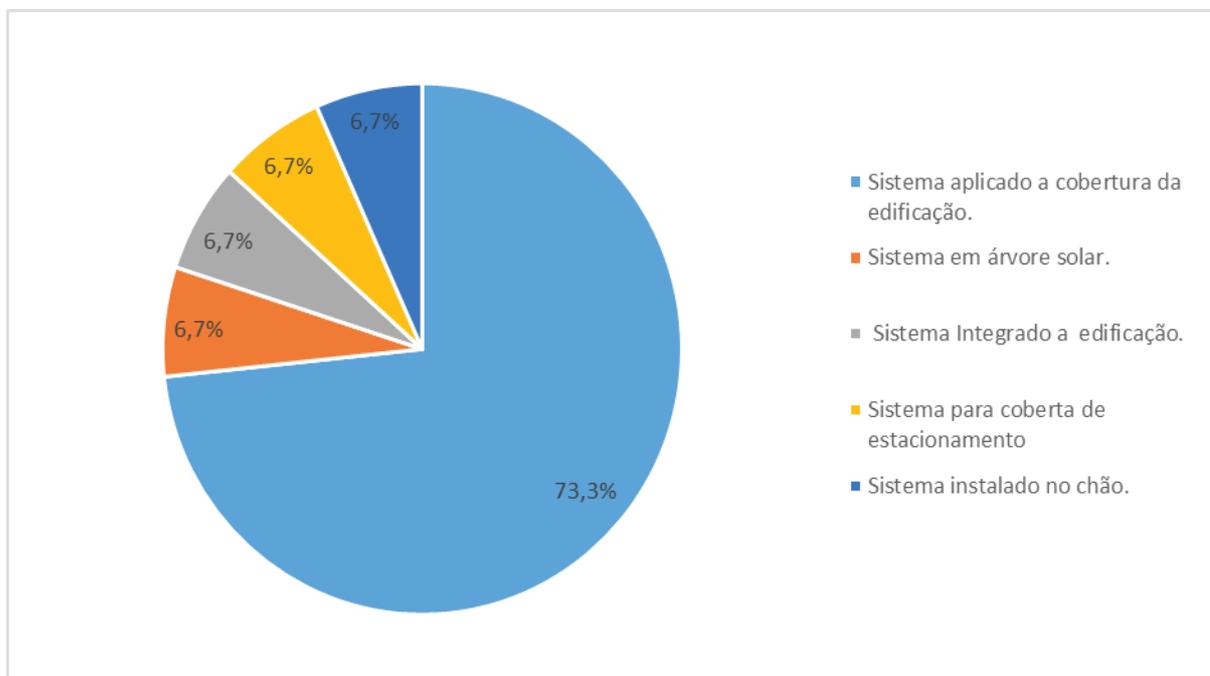
2.1.3 Análise da bibliografia pesquisada

A Figura 7 apresenta os percentuais das características dos tipos de aplicação dos sistemas FV das bibliografias citadas. Como pode ser observado, 73,3% dos trabalhos

estudados utilizam sistemas FV aplicados em coberturas de edificações, onde é aproveitado a estrutura do telhado existente na edificação para fixar os módulos FV. Desta forma, os outros quatro sistemas de aplicação FV somam um total de 26,7%. Cada um deles apresenta 6,7% de representação, sendo o sistema de árvore solar, sistema integrado a edificação, sistema para cobertura de estacionamento e sistema instalado no chão.

Na Tabela 1 é mostrado um resumo da bibliografia citada neste capítulo com as principais características dos sistemas FV implantados nos estudos em análise.

Figura 7 - Percentuais dos tipos de aplicação dos sistemas FV das bibliografias citadas.



Fonte - Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Principais características das bibliografias citadas sobre geração FV e edificações.

AUTOR	LOCAL	ANO	APLICAÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA (kWp)	ELETRICIDADE ANUAL GERADA (MWh/ano)	ÁREA DE INSTALAÇÃO (m ²)	CUSTO DE INSTALAÇÃO	RETORNO DE INVESTIMENTO
Torres (2012)	Porto União/SC	2011	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	2,80	3,58	23,45	R\$ 30.642,26	18 anos e 7 meses
	São Carlos/SP			2,52	3,68	19,62	R\$ 29.154,96	16 anos e 7 meses
	Petrolina/PE			2,24	3,79	17,63	R\$ 27.667,66	14 anos e 2 meses
Costa (2018)	Campus do Pici/UFC - Fortaleza/CE	2016	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	6670,55	12250,00	43734,33	R\$ 20.400.732,78	4 anos
Freitas (2018)	Instituto de Cultura e Arte (ICA) - Fortaleza/CE	2016 a 2018	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	1018,75	1745,58	6683,00	R\$ 4.686.250,00	2 anos e 6 meses
	Centro de Convivência - Fortaleza/CE			214,00	366,67	1404,00	R\$ 984.400,00	2 anos e 6 meses
	Restaurante Universitário (RU) - UFC - Fortaleza/CE			447,25	766,34	2935,00	R\$ 2.057.350,00	2 anos e 6 meses

Costa (2017)	IPREDE - Fortaleza/CE	2016	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	47,74	418246,00	341,00	R\$ 294.140,00	5 anos e 4 meses
Barreto (2017)	Shopping em Fortaleza/CE	2016	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	3300,00	1270,82	3542,35	R\$ 3.276.552,00	7 anos e 6 meses
Alvorecem e Santos (2018)	(IPHAE), na cidade de Santa Maria/RS	2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	26,73	82,19	563,36	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa
Gouveia (2018)	Faculdade de Tecnologia da UnB - Brasília/DF	2017	Sistema em árvore solar.	1,32	2,17	10,00	R\$ 17.712,00	Não aplicado na pesquisa
Custódio et al. (2018)	Centro de Eventos - Florianópolis/SC	2016 a 2017	Sistema para coberta de estacionamento	1004,88	1376,00	16000,00	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa
Dolla et al. (2018)	Aeroporto Internacional de Florianópolis/SC	2017	Sistema integrado a edificação.	2000,00	2235,00	13500,00	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa
Haas, Rohr e Santos (2018)	Cruz Alta/RS	2016 a 2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	Não informado	162,31	706,30	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa

Ruviano, Sperandio e Lucchese (2018)	Santa Maria/RS	2016 - 2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	2000,00	194952,00	12073,00	R\$ 7.176.093,00	4 anos
Krasnhak e Urbanetz Junior (2018)	UFPR em Curitiba/PR	2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	45045,00	60,05	401,57	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa
Moreira, Bastos e Santos (2018)	São Paulo/SP	2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	2,12	1,91	9,00	R\$ 19.653,20	5 anos
Cascaes e Rodrigues (2018)	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS)	2017	Sistema aplicado à cobertura da edificação.	2130,00	3,73	43182,20	Não aplicado na pesquisa	Não aplicado na pesquisa
Silva et al. (2018)	Centro Educacional Municipal de Paulo Afonso (CEMPA) - Paulo Afonso/BA.	2017	Sistema instalado no chão.	37,40	54,99	235,00	R\$ 195.988,80	6 anos e 7 meses

Fonte - Elaborado pelo autor.

2.2 Aplicação FV em edificações e impacto térmico

As edificações devem ter elevada eficiência energética e baixo impacto ambiental, independentemente das condições climáticas externas. Esta exigência é imprescindível devido aos requisitos necessários de temperatura interna da edificação. Uma forte ênfase é colocada nos sistemas que utilizam as fontes de energia renováveis. O sistema FV, que emprega módulos solares para geração de corrente elétrica, pode ser visto como um exemplo particular de geração que pode ser aplicado diretamente em edificações e eleva sua eficiência energética, além de influenciar na temperatura do ambiente. (MARCHWINSKI; KURTZ-ORECKA, 2020).

O impacto positivo da produção de eletricidade no local de consumo reflete na redução das emissões médias anuais de CO₂ para a atmosfera, pois este índice diminui com a aplicação de fontes de energia ecologicamente corretas, como a FV, no edifício (MARCHWIŃSKI E KURTZ-ORECKA, 2020).

Nas áreas urbanas, as temperaturas aumentam continuamente e as cidades buscam implementar medidas para mitigar esse fato. A redução de superfícies vedadas e a adição de energias renováveis têm se mostrado benéficas para os microclimas urbanos. Os telhados das edificações são ideais para a integração da geração FV e esse sistema contribui para a redução da emissão de gases poluentes na área urbana e, com isso, podem reduzir as temperaturas nas cidades. Além disso, ocorre redução do uso de energia para resfriamento nas edificações (SATTLER; ZLUWA; ÖSTERREICHER, 2020).

A instalação de coberturas FV para sombreamento de pavimentos em estacionamentos e também para a produção de eletricidade fornecem benefícios de redução térmica ao mesmo tempo que fornecem benefícios adicionais de apoiar a demanda de energia de pico, conservando os recursos hídricos e utilizando uma fonte de energia renovável (GOLDEN et al. (2007).

Além disso, o sistema FV reduz a variação da temperatura da superfície do telhado sob o módulo FV e reduz as tensões térmicas no telhado, fato que leva à economia de energia e benefícios de conforto humano, especialmente para sistemas FV no telhado em edifícios mais antigos (DOMINGUEZ; KLEISSL; LUVALL, 2011)

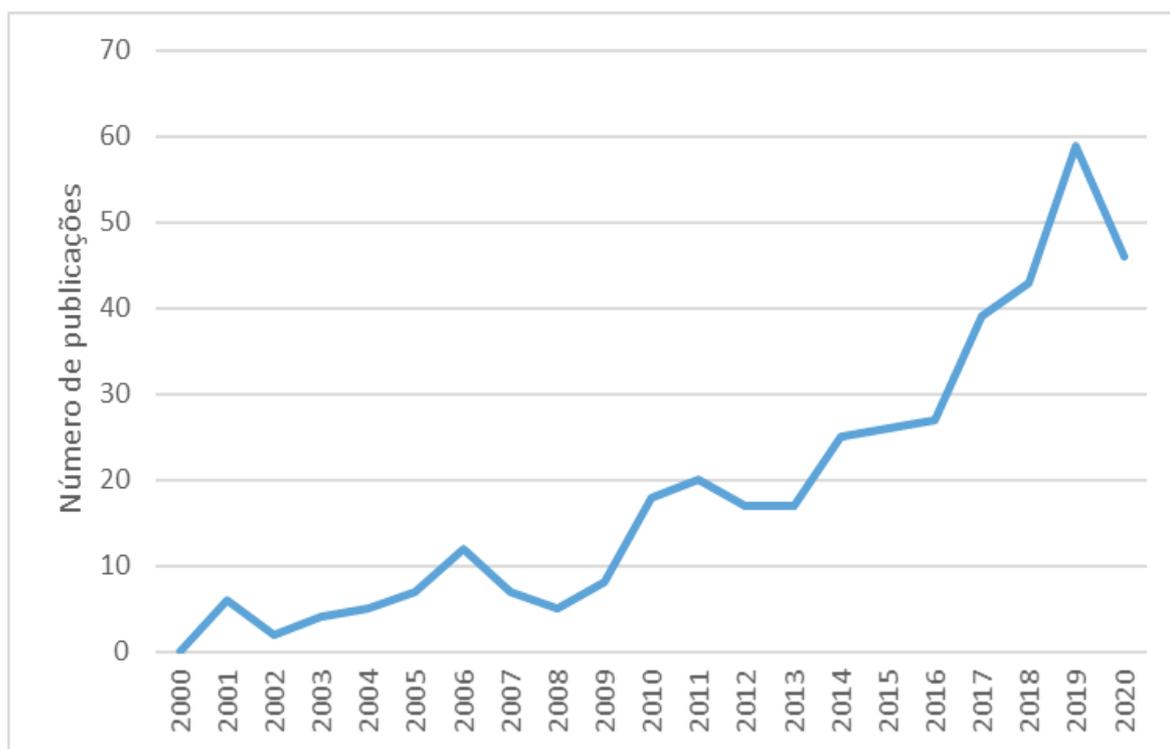
Os módulos FV absorvem a irradiação solar para produzir energia elétrica utilizável nos edifícios. No entanto, ao fazer isso, os módulos modificam o balanço energético da superfície urbana em contato com a atmosfera e, possivelmente, influenciam o microclima urbano. Os módulos também alteram a irradiação recebida pelo telhado e, portanto, o balanço energético e temperatura interna do edifício (MASSON et al., 2014).

2.2.1 Pesquisas acadêmicas envolvendo geração FV e a temperatura em edificações

As palavras chaves “*Photovoltaics*”, “*Buildings*” e “*Temperature*” foram utilizadas em uma busca na base Scopus, e com isso é possível se ter uma visão detalhada das publicações no mundo nos últimos anos. Foram encontradas 393 publicações entre os anos de 2000 a 2020. Utilizou-se “and” como critério booleano, na relação de todos os descritores.

Na Figura 8 é mostrado o número de publicações anuais no mundo que correspondem aos resultados da busca na base Scopus para as palavras-chave durante o período de 21 anos. A partir de 2010 as pesquisas tiveram um aumento significativo, pois houve, no mundo, maiores incentivos e melhoria das condições para inserção da geração FV na matriz de energia elétrica mundial.

Figura 8 - Publicações anuais no mundo para o tema em estudo durante o período de 2000 a 2020.



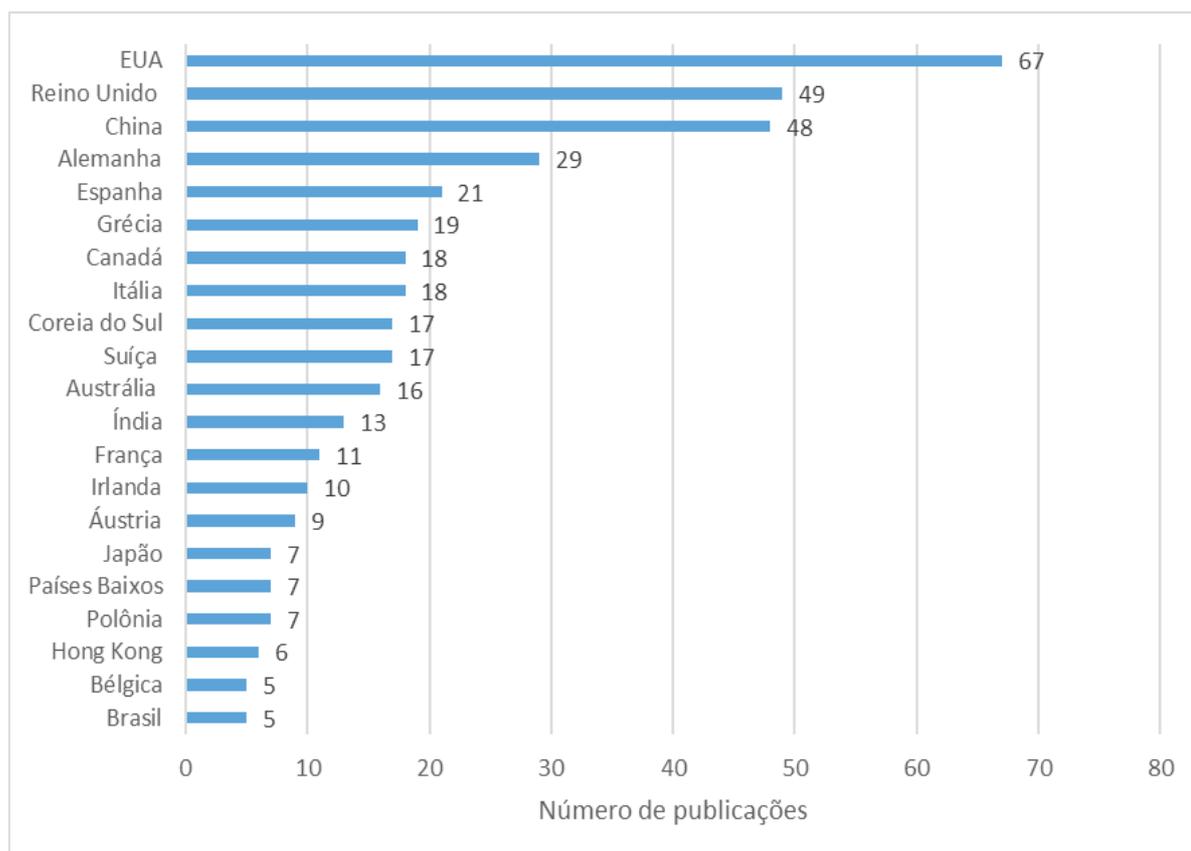
Fonte: Adaptado do Scopus.

Os países que tiveram maior número de publicações relacionadas com o tema, entre os anos de 2000 a 2020, estão mostrados na Figura 9. Os Estados Unidos da América (EUA) lideram o ranking com 67 publicações, seguida pelo Reino Unido, China, Alemanha e Espanha, com 49, 48, 29 e 21 publicações, respectivamente.

A Bélgica e o Brasil estão empatados em décimo sexto lugar, possuindo 5 publicações

cada um. Isto mostra que o Brasil possui poucas publicações relacionadas ao tema e necessita de mais pesquisas. No entanto, mesmo possuindo poucas publicações, o Brasil consegue estar à frente de muitos países desenvolvidos em relação a este tema, sendo, portanto, uma posição de destaque mundial.

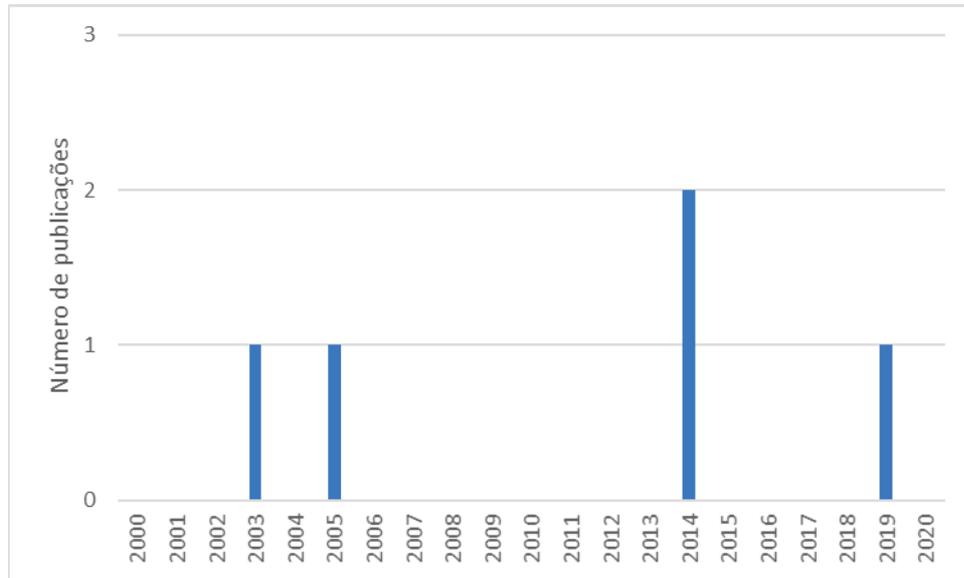
Figura 9 - Produção científica por países relacionada ao tema pesquisado entre os anos de 2000 a 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

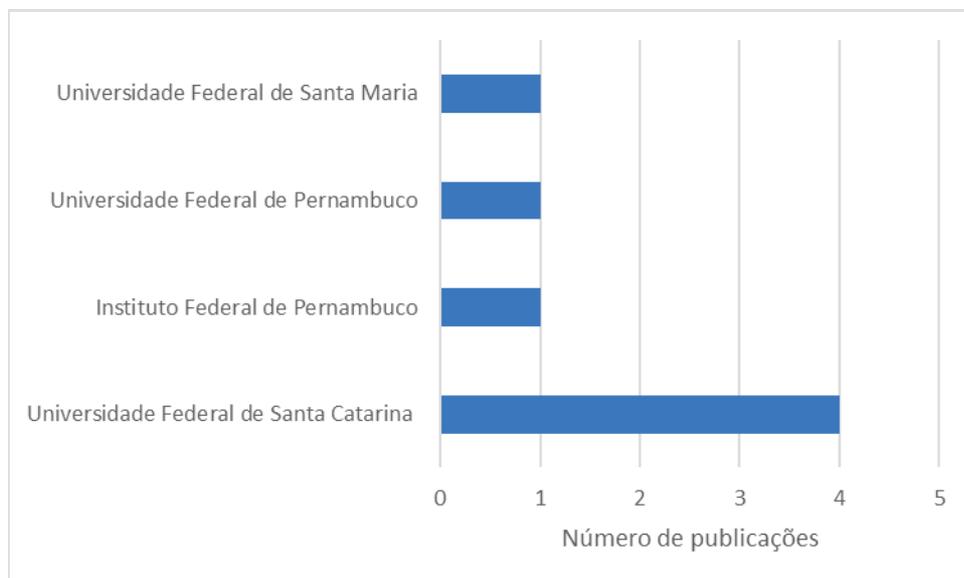
Na Figura 10 é mostrada a distribuição das 5 publicações do Brasil ao longo dos anos neste tema. As instituições brasileiras que mais contribuíram com a pesquisa relacionada ao tema são mostradas na Figura 11. A primeira colocação é ocupada pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com 4 publicações. O Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) estão empatadas na segunda posição, tendo 1 publicação cada.

Figura 10 - Produção científica no Brasil relacionada ao tema entre 2000 e 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

Figura 11 - Produção científica por instituições brasileiras relacionada ao tema pesquisado entre 2000 e 2020.



Fonte: Adaptado do Scopus.

2.2.2 *Sistemas FV e a temperatura em edificações: experiências no mundo e no Brasil*

Em um edifício as análises climáticas e de construção podem contribuir no desempenho energético final. É conveniente trabalhar nas reduções das necessidades energéticas a fim de obter um edifício com baixo consumo e com baixas taxas de emissões de gases poluentes, como CO_2 (SALAMANCA et al. 2012).

Muitos estudos revelam que a implantação em larga escala de tecnologias de cobertura é um meio eficaz de reduzir o consumo de energia e incentiva a concepção de edifícios mais eficientes (SALAMANCA et al. 2012).

Uma edificação com estratégias bioclimáticas possui maior estabilidade térmica e menor consumo anual de energia, tanto para resfriamento quanto para aquecimento. Assim, evidencia-se a importância de levar em consideração desde a fase de projeto, o entorno em que a edificação se encontra, visando otimizar seu desempenho (BILÉSIMO, RAMPINELLI E MARCELINO, 2018).

A implementação de módulos FV aplicados como cobertura de estacionamento, apresenta retorno em conforto térmico e fornece um ambiente agradável e seguro para os veículos. Além disso, possui viabilidade técnico-econômica, tendo uma previsão de retorno do investimento de aproximadamente 04 anos (NICOLA et al. 2018).

Sistemas avançados de materiais frios utilizáveis para reduzir a ilha de calor urbano (ICU) podem ser implementados nos telhados, a fim de refletir mais energia para o céu (alto albedo, alta emissividade) ou atrasar a transferência de calor em direção ao interior do edifício (materiais de mudança de fase) (SANTAMOURIS, SYNNEFA E KARLESSI, 2011).

Pesquisas documentam benefícios indiretos, além da redução de emissões de gases de efeito estufa, derivados do uso de sistemas FV em ambientes urbanos. Por exemplo, Dominguez, Kleissl e Luvall (2011) mostram que em um edifício parcialmente coberto por módulos FV as temperaturas diurnas do teto sob os módulos FV são até 2,5 K mais frias do que sob o teto exposto. À noite, as condições se invertem e o teto sob os módulos FV fica mais quente do que o telhado exposto, indicando propriedades de isolamento térmico. Além disso, ocorre redução na carga anual de resfriamento em 5,9 kWh/m², que representa 38% da carga anual total.

Genchi et al. (2003) analisaram o uso de módulos FV em telhados de uma grande área de Tóquio, concluindo que o impacto em grande escala seria insignificante, mas que o consumo de energia para resfriamento pode ser reduzido em até 10% pelo efeito de sombreamento.

Akata, Njomo e Mempouo (2015) identificaram um aumento da temperatura do ar interior de cerca de 4°C para um edifício com sistema FV integrado ao imóvel (*Building Integrated Photovoltaics – BIPV*) em Yaoundé, Camarões, tanto para o caso onde o sistema *BIPV* foi integrado ao telhado, quanto para o caso em que o sistema estava integrado às paredes de uma das fachadas.

Custódio e Rüter (2017) analisaram as temperaturas médias mensais dos ambientes

internos de uma edificação com módulos FV na cobertura inclinados a 27° e a 10°. O caso em que os módulos FV na cobertura estão inclinados a 10° apresentou valores de temperaturas maiores que no caso em que módulos FV na estão inclinados a 27°. Nos meses de inverno e de verão as temperaturas dos dois casos se aproximaram bastante. Além disso, quando comparado às temperaturas internas da edificação com módulo FV e sem módulo FV na cobertura, ocorre aumento na temperatura interna da edificação de aproximadamente 0,84°C quando os módulos estão aplicados com inclinação de 27° e de 0,87°C quando os módulos estão inclinados a 10°.

A integração da geração FV em telhados com cobertura vegetal gera melhores condições climáticas em zonas urbanas e aumenta a eficiência dos módulos FV quando aplicados sobre superfícies vegetais por conta do resfriamento da região, principalmente se aplicados em cidades situadas em baixas latitudes, como as da região litorânea do Nordeste brasileiro (MELO FILHO E MATOS, 2018). Além disso, o uso de materiais frios para telhados e pavimentos reduzem a ICU em 2K e 1K, respectivamente (MASSON et al., 2012).

Golden et al. (2007) analisam a temperatura na superfície de pavimento com cobertura não sombreada e de pavimento com cobertura sombreada com módulos FV. Os resultados mostram redução de 0,7°C em pavimento com cobertura sombreada por módulos FV, além de fornecer os benefícios adicionais de apoiar a demanda de pico de energia, conservar os recursos hídricos e utilizar uma fonte de energia renovável.

Scherba et al. (2011) usam um sofisticado modelo de energia de construção com conjuntos de dados baseados no clima e relatam que as matrizes FV, implantadas no topo de telhados, reduzem em média 11% o fluxo de calor diário sensível no ambiente urbano.

A implantação em grande escala de módulos FV na região de Los Angeles tem efeitos positivos na temperatura do ar. As simulações, usando eficiências de conversão solar disponíveis, preveem um resfriamento regional de até 0,2°C para a região metropolitana (TAHA, 2013).

Masson et al. (2014) implementam módulos FV no esquema de balanço energético de Paris levando em consideração a produção de energia, o impacto na edificação e sobre o microclima urbano através de fluxos radiativos e convectivos. Um grande cenário de implantação de módulos FV na área metropolitana de Paris é então simulado. Os resultados mostram que os painéis FV, ao sombrear os telhados, aumentam levemente a necessidade de aquecimento doméstico (3%). Já no verão, os painéis reduzem a energia necessária para o ar-condicionado (12%) e também a temperatura urbana em 0,2 K durante o dia e até 0,3 K à noite. Logo, a implantação de sistemas solares FV diminuem a temperatura urbana,

especialmente no verão, quando pode ser uma ameaça à saúde.

Salamanca et al. (2016) examinam os impactos regionais de verão do uso de geração FV em telhado na temperatura do ar próximo à superfície e na demanda de energia de refrigeração nas cidades de Phoenix e Tucson, Arizona – EUA. Os resultados mostram que a implantação de módulos FV no telhado reduzem a temperatura interna da edificação em 0,4 a 0,8°C e reduz a demanda diária de energia de resfriamento em 8 a 11% (sem considerar as economias adicionais derivadas de sua produção de eletricidade). Além disso, a implantação da tecnologia FV na cobertura traz múltiplos benefícios para o ambiente urbano e agregam valor adicional porque reduzem a dependência do consumo de combustível fóssil para a geração de eletricidade.

2.2.3 Análise da bibliografia pesquisada

Na Tabela 2 é exposto um resumo da bibliografia citada neste capítulo com as principais características dos sistemas FV implantados e seus impactos na temperatura.

Tabela 2 - Principais características das bibliografias citadas sobre geração FV e a temperatura em edificações.

AUTOR	LOCAL	APLICAÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA DO SISTEMA (kW)	ELETRICIDADE ANUAL GERADA (kWh/ano)	ÁREA DE INSTALAÇÃO (m ²)	ΔT
Akata, Njomo e Mempouo (2015)	Yaoundé, Camarões	BIPV	N.I.	N.I.	290	Aumento de 4°C para sistema integrado ao telhado.
Custódio e Ruther (2017)	Florianópolis - SC	BAPV	3,6	5069,50 / 5046,86	63	Aumento na temperatura interna da edificação em 0,84°C quando os módulos FV estão com inclinação de 27° e de 0,87°C quando estão 10°.
Golden et al. (2007)	Phoenix - Arizona, EUA	BAPV	127	178.000	1022	Redução de 0,7 °C no pavimento com cobertura sombreada por módulos FV.
Dominguez, Kleissl e Luvall (2011)	San Diego - EUA	BAPV	13	148	35	Redução de 2,5°C no pavimento com cobertura sombreada por módulos FV.
Taha, 2013	Los Angeles, EUA	BAPV	N.I.	N.I.	Cenários hipotéticos - implantação em larga escala na cidade.	Redução de 0,2°C no ambiente urbano de Los Angeles.
Masson et al. (2014)	Paris	BAPV	N.I.	N.I.	Cenários hipotéticos - implantação em larga escala na cidade	Redução da temperatura em 0,3°C e da energia para o ar-condicionado em 12%.
Salamanca et al. (2016)	Arizona, EUA	BAPV	N.I.	N.I.	Cenários hipotéticos - implantação em larga escala na cidade	Redução da temperatura em 0,8°C e da demanda de energia de resfriamento em 8 a 11%.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Simulação computacional

A inserção de ferramentas de simulação computacional vem sendo incorporada cada vez mais em projetos de engenharia e na construção de novos empreendimentos. Isso ocorre devido às políticas públicas de incentivo à redução de consumo e ao uso de tecnologia de eficiência termo energética (CARLO, 2008).

O uso de simulações computacionais permite estimar o comportamento térmico e energético das edificações (MENDES, 2005). Através dessa metodologia, a obtenção da temperatura e umidade interna de ambientes tem sido uma ferramenta muito utilizada para o auxílio em estudos de retrofit e cálculo de transferência de calor através de sistemas construtivos, permitindo a avaliação de diversos materiais disponíveis no mercado da construção civil em diversas localidades nas quais existam dados climáticos disponíveis (BATISTA; LAMBERTS; WESTPHAL, 2005).

Ferramentas computacionais foram desenvolvidas nos EUA para o cálculo de desempenho termo-energético, como DOE-2, Radiance e Energy Plus. Este último, é caracterizado pelo grau de integração e metodologia de cálculos sobre a temperatura do ar, umidade ambiente, iluminação, ventilação pelas aberturas, entre outros (LEITE, 2016).

Os softwares de simulação computacional se baseiam em informações de entrada, como a envoltória e composição do edifício, informações de utilização e condições externas, que são fornecidas pelo usuário para efetuar os cálculos de fluxo térmico em cada superfície e componente da edificação (ANDRADE, 2016).

A envoltória do edifício é determinada através de modelagem que pode ser criada em módulos de construção CAD (*Computer Aided Design*), ou através da inserção de dados por sistema de coordenadas. Muitos softwares não possuem módulo de construção CAD, porém realizam a importação de formatos de arquivos de desenho tridimensional desenvolvidos em outras plataformas (ANDRADE, 2016).

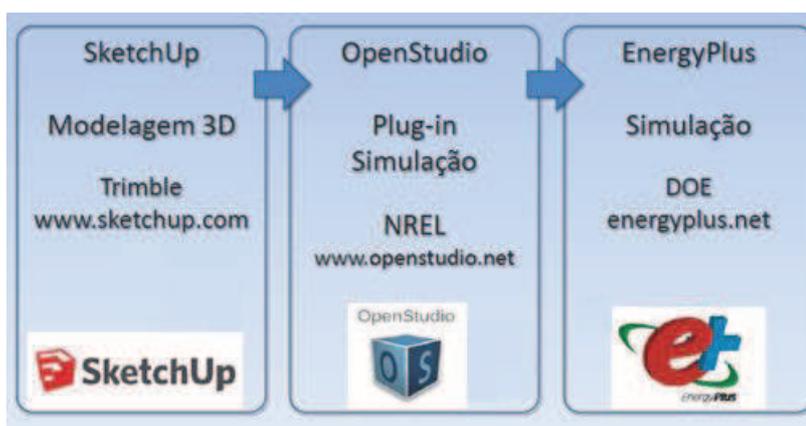
A caracterização e composição da edificação é dada pelo detalhamento e propriedades físicas dos materiais externos e internos utilizados na construção, descritos segundo a norma NBR 15520-2/2005.

As informações de utilização são definidas através das normas NBR 15575/2013, NBR ISO 8995-1/2013 e ASHRAE 90.1, que descrevem os equipamentos utilizados em um edifício e o perfil de ocupação, os sistemas de iluminação e climatização. Além disso, são utilizados arquivos externos com dados sobre o perfil dos climas ambientais na região geográfica da edificação para caracterização das condições externas.

O conjunto de softwares SketchUp, OpenStudio e EnergyPlus, os quais possuem

funções variadas durante a simulação, formam a metodologia mais utilizada e aceita pela comunidade acadêmica e conselhos de eficiência energética para realização da simulação computacional, ilustradas conforme a Figura 12.

Figura 12 - Diagrama do Uso das Ferramentas Computacionais para Simulação.



Fonte: Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios (Leite, 2016).

2.3.1 SketchUp

O SketchUp é um software desenvolvido inicialmente pelo Google e atualmente pela Trimble para desenho tridimensional de ambientes. É amplamente utilizado nas simulações termo energéticas e, entre tantas outras plataformas de desenho CAD disponíveis, a grande vantagem desse software é a facilidade na utilização de sua interface e a capacidade de suportar *plug-ins* desenvolvidos por terceiros, como é o caso do OpenStudio (NREL, 2015).

Na presente pesquisa, o SketchUp foi utilizado para representação da envoltória da edificação e de todas as suas superfícies internas e externas, as quais foram especificadas e convertidas no formato *input data file* (.idf) com o auxílio do OpenStudio, para serem utilizadas pelo EnergyPlus na simulação do edifício.

2.3.2 OpenStudio

O OpenStudio é elaborado pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) de maneira *open-source* (código aberto), podendo ser alterado e utilizado de maneira livre pelos seus usuários (ANDRADE, 2016).

O programa é um *plugin* de extensão associado ao SketchUp, que tem como objetivo a preparação do modelo desenvolvido para utilização no EnergyPlus, gerando um arquivo de informações a serem carregadas no mesmo (NREL, 2015).

Através do OpenStudio é possível realizar uma simulação preliminar do desempenho térmico, no entanto a precisão e capacidade de cálculo desse software é bem inferior ao EnergyPlus (NREL, 2015).

O OpenStudio conta com uma vasta gama de funções, como a criação das características dos materiais aplicados na edificação, descrição das camadas para composição de superfícies, fragmentação das áreas por zonas térmicas (grupo de ambientes que combinam o uso de um mesmo sistema de climatização) e especificação do perfil de ocupação da construção por zona. As informações são exportadas para o EnergyPlus e com isso, alcançam resultados da performance energética do edifício de modo mais detalhado (ANDRADE, 2016).

2.3.3 EnergyPlus

O Departamento de Energia dos EUA (DOE) desenvolveu o EnergyPlus com base em dois softwares pioneiros na simulação termo energética de edifícios: BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2, o primeiro focado em desempenho térmico e o segundo em consumo energético da edificação (DOE, 2013).

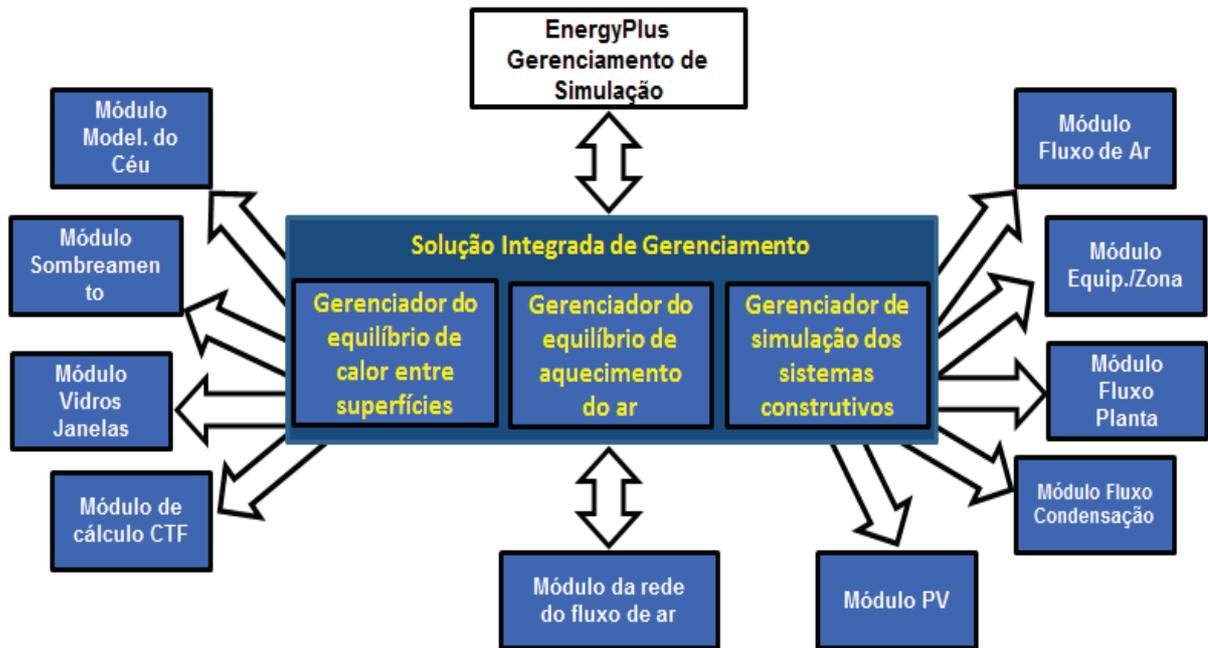
O EnergyPlus realiza cálculos numéricos fundamentados nos princípios de balanço de massa e energia (1ª Lei da Termodinâmica) e permite simulações integradas de cargas térmicas. As três partes principais da simulação - edifício, sistema e planta - são solucionadas simultaneamente, o que proporciona resultados precisos de temperatura e predição de conforto (CRAWLEY, 2001).

Para fornecer a temperatura de uma edificação durante todo o ano, o EnergyPlus integra uma série de módulos de cálculo para cada ambiente e superfície e, assim, realiza uma simulação completa do balanço de massa e energia (ANDRADE, 2016).

O programa EnergyPlus trabalha, principalmente, com três módulos: o gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies, de aquecimento do ar e o de simulação dos sistemas construtivos, conforme a Figura 13.

O gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies e o de aquecimento do ar atua nos módulos de balanço térmico de superfícies e ar, e também como uma interface entre o balanço térmico. Já o gerenciador de simulação dos sistemas construtivos encarrega-se da comunicação entre os cálculos de balanço térmico e vários módulos e “circuitos” do sistema de condicionamento de ar (CRAWLEY, 2005).

Figura 13 - Gerenciamento de Simulação por Módulos do EnergyPlus.



Fonte: Schaedler, 2014.

3 MATERIAIS

No presente capítulo é apresentado o Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA-UFC), onde grande parte do trabalho foi desenvolvido, assim como os materiais utilizados e a formulação matemática necessária para uma adequada análise da influência da geração FV na temperatura da edificação. Apesar da formulação ser mostrada no presente capítulo, a análise será feita em capítulos subsequentes.

3.1 Laboratório utilizado

A pesquisa é realizada no LEA-UFC, que tem parceria com o Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFC, local da instalação física.

O LEA foi idealizado pelo Professor Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, que pertence ao corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC, a fim de realizar pesquisas que favoreçam a inserção das fontes alternativas de energia e, assim, fortalecer a busca por uma matriz energética mais diversificada, descentralizada e confiável para a região e também em âmbito nacional.

O LEA-UFC está localizado no Campus do Pici, próximo à Avenida Mister Hull, Fortaleza/CE, mostrado na Figura 14, possuindo as seguintes coordenadas: latitude: $3^{\circ}44'14.82''\text{S}$ e longitude: $38^{\circ}34'21.97''\text{O}$.

Figura 14 - Localização do LEA-UFC.



Fonte: Freitas Filho, 2019.

Nesta edificação foram coletados dados de temperatura ambiente externa, no período de outubro de 2019 a janeiro de 2020 e março e abril de 2020, temperatura interna da laje da edificação, no período de outubro a dezembro de 2019, e temperatura ambiente interna, no período de janeiro, março e abril de 2020.

3.2 Planta FV

A planta FV, conectada à rede elétrica do Campus do Pici, encontra-se instalada nas dependências do LEA da UFC; possui 6 módulos de silício policristalino - módulo YL250P-29b - conectados em série, com potência individual de 250 kWp, totalizando uma potência nominal de 1,5 kWp. Cada módulo possui 1,64 m de comprimento e 0,99 m de largura, resultando em uma área de 1,62 m² e uma área útil total da planta do sistema de 9,74 m².

A Figura 15 mostra a planta FV instalada sobre a laje de cobertura do LEA. Esta GD FV é conectada a uma rede de distribuição de baixa tensão (BT), monofásica, tensão nominal de 220V e funciona em um sistema de compensação de energia, portanto, estando de acordo com a NT-010 da Enel (COSTA, 2018).

Figura 15 - Planta FV instalada no LEA-UFC e conectada à rede do Campus do Pici.



Fonte: Costa, 2018.

3.3 Inversor

Os seis módulos FV estão conectados em série, logo, a corrente é a mesma para cada painel FV, mas a tensão do sistema FV é a soma das tensões individuais de cada painel.

O sistema FV é conectado ao inversor monofásico PHB 1500-SS, mostrado na Figura 16.

O inversor PHB 1500-SS suporta uma potência máxima de saída de 1950 W, uma máxima tensão de C.C. de 450 V, corrente CC máxima de 10 A, potência C.A. nominal de 1500 W, máxima potência C.A. de 1500 W, tensão nominal C.A. de 220 V e corrente C.A. de saída máxima de 7,5 A (COSTA, 2018).

Figura 16 - Inversor PHB 1500-SS conectado à planta FV do LEA.



3.4 Proteção do sistema FV

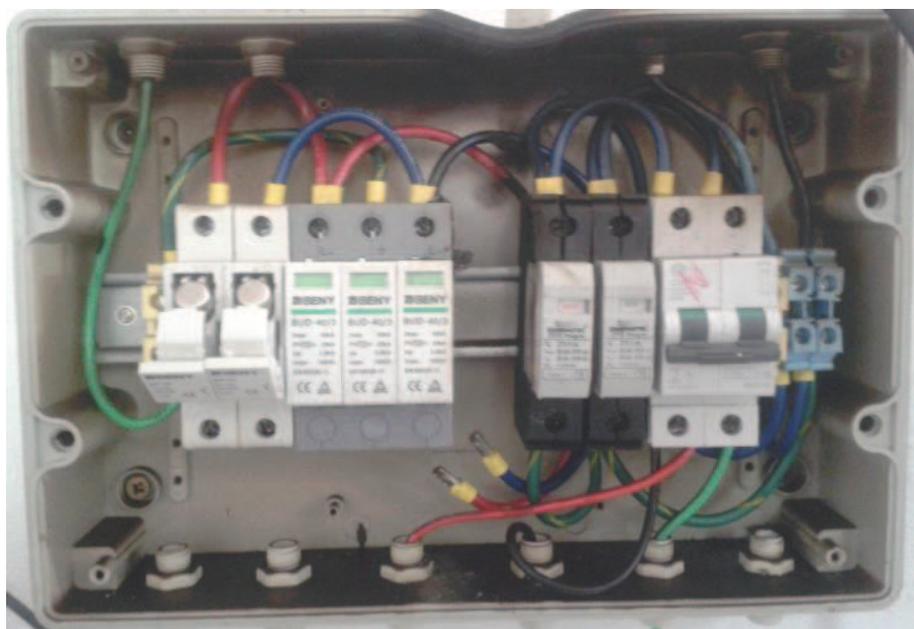
A fim de proporcionar uma operação segura da instalação, a proteção da GD FV é feita por um disjuntor de 10 A do lado C.A. do inversor, sendo este valor menor que os 25 A determinado pelo fabricante como corrente de abertura máxima para o modelo PHB 1500-SS e maior que os 7,5 A, que representa a corrente máxima de saída C.A. do inversor (COSTA, 2018).

Na Figura 17 é mostrado o quadro de proteção e isolamento de rede que foi projetado para proteção contra surtos vindo da rede elétrica em corrente C.A. O quadro conta com

dispositivo de proteção contra surtos e disjuntor, sendo montado em caixa de plástico com grau de proteção IP65.

O inversor possui integradas algumas funções importantes para o bom funcionamento da microgeração FV junto à rede de distribuição de energia elétrica, como: monitoramento da corrente de fuga e da corrente residual entre o sistema FV e a rede elétrica, proteções de requisito mínimo que a NT-010 da Enel estabelece para microgeração com potência instalada menor ou igual a 75 kW, as proteções de anti-ilhamento, de subtensão e sobretensão e de subfrequência e sobrefrequência.

Figura 17 - Quadro de proteção da planta FV do LEA.



3.5 Sistema de aquisição de dados

A instalação de sistemas que possam monitorar os dados ambientais de temperatura foi a preocupação inicial desta dissertação, pois a coleta de dados é uma tarefa de profunda importância e que demanda tempo considerável, pelo curto período em que esta precisa ser escrita.

Para ser feita a aquisição de dados de temperatura interna e externa à edificação foi necessário a utilização do sistema SCADA com um Controlador Lógico Programável (CLP), modelo Twido TWDLC-E40DRF, que é mostrado na Figura 18, e sensores de temperatura.

Para um melhor acompanhamento dos parâmetros ambientais foram instalados sensores PT-100 para a aquisição da temperatura interna da laje da edificação, temperatura ambiente interna e de temperatura ambiente externa.

O sensor PT-100 é um tipo particular de Detector de Temperatura por Resistência (RTD – *Resistance Temperature Detectors*) que mede a temperatura pela correlação da sua resistência elétrica com a temperatura (100Ω a $0 \text{ }^\circ\text{C}$). A maioria destes sensores é construída a partir de uma espiral de fio fino montada num suporte cerâmico ou de vidro. Devido a sua natureza frágil, necessitam ser instalados em bainhas protetoras. Geralmente é considerado como o mais exato sensor de temperatura industrial disponível, além de proporcionar estabilidade aceitável em comparação com outros sensores de temperatura (DUPONT, 2017).

Cada tipo de sensor de temperatura possui um determinado conjunto de condições para as quais é o mais adequado. O PT-100 oferece várias vantagens: ampla faixa de temperatura (aproximadamente -200 até $850 \text{ }^\circ\text{C}$), boa precisão e boa permutabilidade (melhor que termopares), e estabilidade em longo prazo (OMEGA ENGINEERING BRASIL, 2016).

Figura 18 - CLP instalado no LEA.



Existem 3 modos de conexão para os PT-100: 2 fios, 3 fios e 4 fios. Cada um requer um instrumento leitor diferente. Na presente pesquisa utilizou-se o modo de conexão de 3 fios, como ilustrado na Figura 20. O sensor foi conectado a um transmissor de temperatura da marca NOVUS modelo TxRail, como ilustrado na Figura 21.

A saída do transmissor é corrente de 4-20 mA ou 20-4 mA de tipo 2 fios e linear em

relação a temperatura medida pelo sensor seleccionado. A resolução da saída é de 0,004 mA (12 bits) e a tensão de operação varia numa faixa de 12 a 35 Vcc (DUPONT, 2017).

Figura 19 - Conexão de 3 fios do Sensor PT-100.

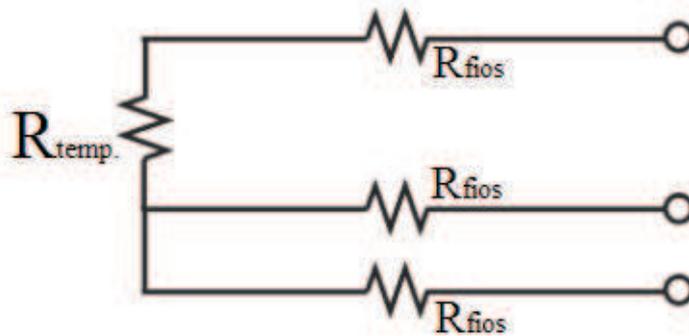
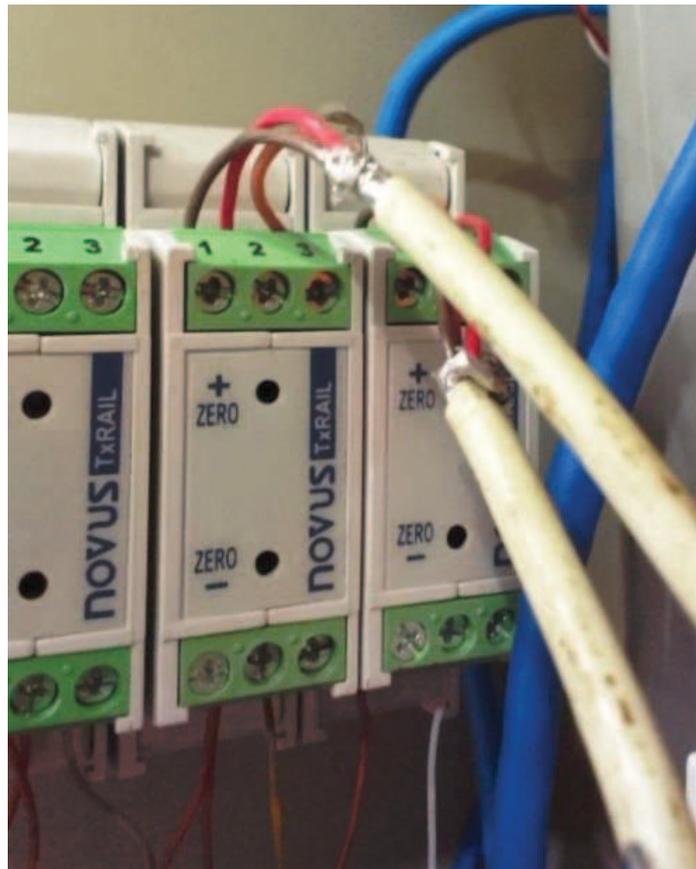
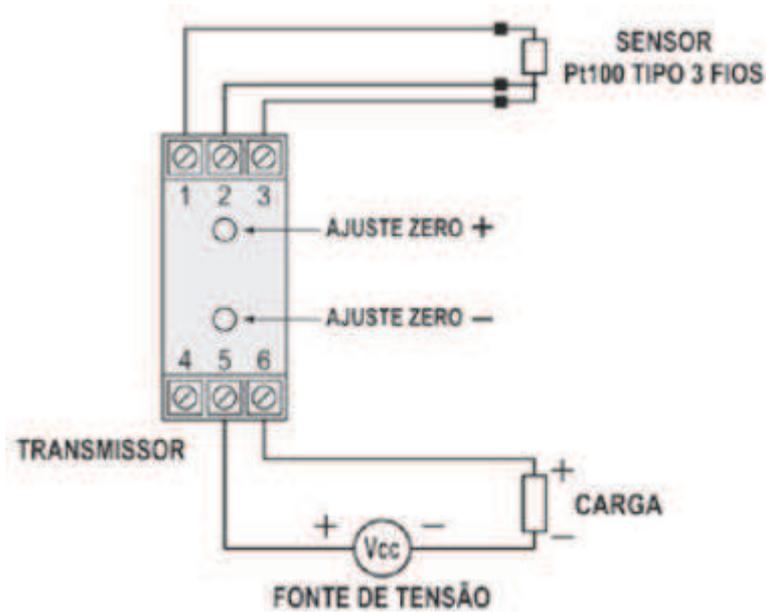


Figura 20 - Transmissor NOVUS TxRail.



A Figura 21 mostra as conexões elétricas necessárias para a conexão do sensor PT-100. Os terminais 1, 2 e 3 são dedicados à conexão de entrada, onde CARGA representa o instrumento medidor de corrente 4-20 mA (indicador, controlador, registrador, etc.).

Figura 21 - Conexão do sensor de temperatura PT-100.



Fonte: (NOVUS, 2016)

Dois sensores PT-100 estão posicionados na parte interna da laje coberta com módulos FV e outros dois estão posicionados em laje sem qualquer tipo de cobertura, para aquisição dos dados de temperatura interna da laje da edificação. Na Figura 22 é visto o sensor posicionado na laje interna da edificação.

Figura 22 - Sensor de temperatura PT-100 na laje interna do LEA.



Já para a temperatura ambiente interna, Figura 23, os sensores PT-100 estão instalados no ponto mediano interno da edificação, a uma distância de 1,50 metros do teto e do piso. Dois sensores estão posicionados na parte interna que possui módulos FV e outros dois estão posicionados na parte da edificação que não possui módulos FV.

Para aferição da temperatura ambiente externa, um sensor PT-100 foi instalado na parte externa do laboratório. Os sensores foram conectados ao CLP, que por sua vez foi conectado a uma CPU (*Central Processing Unit*) com um monitor, a qual possui o sistema SCADA instalado. As informações coletadas pelo sistema são armazenadas a cada 1 minuto, podendo ser exportados estes dados no formato .xls, exibido na Figura 24.

Figura 23 - Sensor de temperatura PT-100 no ponto mediano interno da edificação.



Figura 24 - Dados coletados pelo sistema e exportados no formato .xls.

1	Parâmetros monitorados														
2															
3	Data e hora	Irrad_Horiz	Temp_painel	Temp_ambiente	Temp_P1	Temp_P2	Temp_P3	Temp_P4	Tensao_Solo	Corrente_Solo	Corrente_Agua	Tensao_Agua	Pluviometro		
4	19/11/2019 19:49	903	49,92	29,6	34,08	32,89	36,86	36,16	0	-0,02	0	0	0		
5	19/11/2019 19:50	1245	50,5	29,96	34,08	32,99	36,86	36,16	0	-0,03	0	0	0		
6	19/11/2019 19:51	1213	50,71	30,06	34,08	32,99	36,87	36,2	0	-0,03	0,02	0	0		
7	19/11/2019 19:52	1199	51,73	30,34	34,05	33,09	36,83	36,25	0	-0,03	0,02	0	0		
8	10/12/2019 09:32	988	54,25	30,17	34,41	33,24	35,94	35,47	0	-0,03	0,01	0	0		
9	10/12/2019 09:33	979	53,53	30,22	34,52	33,35	35,94	35,54	0	-0,01	0,01	0	0		
10	10/12/2019 09:34	405	53,95	30,21	34,3	33,24	36,01	35,54	0	-0,02	0,01	0	0		
11	10/12/2019 09:35	200	52,86	30,22	34,25	33,19	35,84	35,47	0	-0,03	0	0	0		
12	10/12/2019 09:36	232	52,02	29,96	34,08	33,19	35,78	35,54	0	-0,01	0,01	0	0		
13	10/12/2019 09:37	221	50,85	29,81	33,8	33,14	35,78	35,36	0	-0,01	0	0	0		
14	10/12/2019 09:38	1102	50,5	29,6	33,73	33,14	35,68	35,37	0	-0,03	0,02	0	0		
15	10/12/2019 09:39	1118	50,24	29,34	33,8	33,19	35,78	35,28	0	-0,02	0	0	0		
16	10/12/2019 09:40	1103	51,11	29,44	33,8	33,19	35,83	35,28	0	-0,02	0,01	0	0		
17	10/12/2019 09:41	1101	53,02	29,77	33,8	33,19	35,84	35,29	0	-0,01	-0,01	0	0		
18	10/12/2019 09:42	1074	53,48	30,06	33,63	33,19	35,83	35,37	0	-0,03	0,01	0	0		
19	10/12/2019 09:43	1038	53,84	30,39	33,73	33,14	35,83	35,37	0	-0,01	0,01	0	0		
20	10/12/2019 09:44	1011	54,04	30,85	33,7	33,19	35,83	35,37	0	-0,01	0,01	0	0		
21	10/12/2019 09:45	1004	54,21	30,95	33,68	33,19	35,83	35,37	0	-0,01	0,01	0	0		
22	10/12/2019 09:46	1008	54,37	30,96	33,73	33,19	35,88	35,36	0	-0,02	0,03	0	0		
23	10/12/2019 09:47	1024	55,7	31,11	33,7	33,14	35,88	35,44	0	-0,03	0,01	0	0		

3.6 Formulação matemática

Os principais levantamentos verificados são índices e quocientes estatísticos, calculados por meio dos dados coletados, que delimitam a avaliação da influência de sistemas FV na temperatura de edificações.

3.6.1 Temperatura média horária

A temperatura média horária na hora h ($Tm_{hora h}$) é média das temperaturas a cada minuto de cada hora dos dias que apresentaram medições, conforme a Equação 1, em que $T_{min s}$ é a temperatura do minuto s e n é a quantidade de minutos da hora que apresentaram medições. O $Tm_{hora h}$ revela o montante médio da temperatura horária no local em que o estudo é feito, sendo sua unidade em °C.

$$Tm_{hora h} = \frac{\sum_{s=1}^n T_{min s}}{n} \quad (1)$$

3.6.2 Temperatura média diária

A temperatura média horária no dia ($Tm_{dia d}$) é média das temperaturas das horas de

cada dia que apresenta medições, conforme a Equação 2, em que $Tm_{hora\ h}$ é a temperatura média na hora h e n é a quantidade de horas do dia que apresenta medições. O $Tm_{dia\ d}$ revela o montante médio da temperatura diária no local em que o estudo é feito, sendo sua unidade em °C.

$$Tm_{dia\ d} = \frac{\sum_{h=1}^n Tm_{hora\ h}}{n} \quad (2)$$

3.6.3 Temperatura média mensal

A temperatura média mensal no mês m ($Tm_{mês\ m}$) é média das temperaturas diárias de todos os dias que apresentaram medições, conforme a Equação 3, em que $Tm_{dia\ d}$ é a temperatura média diária do dia d e n é a quantidade de dias do mês que apresentaram medições. O $Tm_{mês\ m}$ revela o montante médio da temperatura mensal no local em que o estudo é feito, sendo sua unidade o °C.

$$Tm_{mês\ m} = \frac{\sum_{d=1}^n Tm_{dia\ d}}{n} \quad (3)$$

3.6.4 Desvio-padrão amostral

O desvio-padrão amostral mensal, S_m , é uma medida de dispersão absoluta em torno do valor médio dos dados e que possui a mesma unidade da variável estudada. O S_m revela quão dispersos os dados medidos estão em relação à média no intervalo de um mês, ou seja, quanto menor for S_m menor é a variabilidade mensal dos dados. Na Equação 4 é apresentada a fórmula de cálculo deste índice, sendo \bar{x} a média da variável que se deseja o desvio padrão e x_i o valor da variável em i .

$$S_m = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}\right)} \quad (4)$$

3.7 Simulação computacional

Na presente pesquisa são realizadas simulações computacionais através da utilização dos programas SketchUp, OpenStudio e *EnergyPlus*, com ênfase em análise térmica, para

avaliação do impacto da utilização de módulos FV na cobertura de uma edificação.

Em um primeiro momento é verificada a temperatura e umidade interna da edificação, conforme as características de construção, sem a utilização de módulos FV em sua cobertura. Em seguida, são analisados os mesmos parâmetros térmicos para a edificação com a cobertura sombreada por módulos FV.

3.7.1 Modelo volumétrico – SketchUp

O modelo volumétrico da edificação utilizado nas simulações foi desenvolvido utilizando a ferramenta computacional SketchUp 17.2.2555.

A Figura 25 apresenta o croqui volumétrico da edificação sem módulos FV e a Figura 26 apresenta o modelo com módulos FV acima da cobertura da edificação. Neste último caso, os módulos FV são considerados como superfície de sombreamento sobre a área da cobertura e estão dispostos 60 cm acima dela.

Figura 25 – Modelo volumétrico da edificação sem cobertura FV desenvolvido no SketchUp.

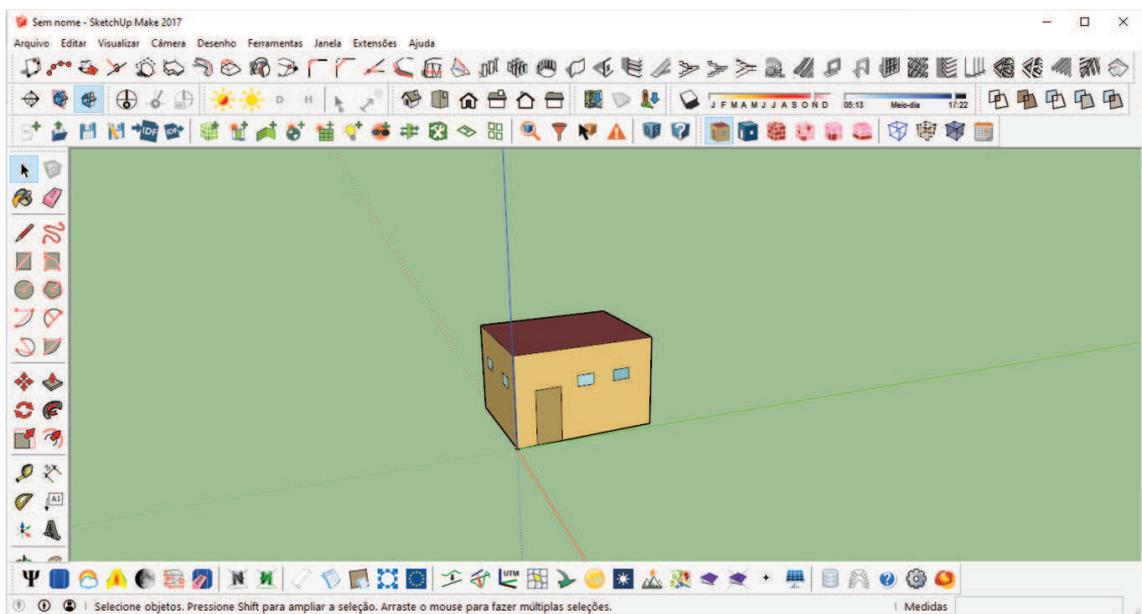
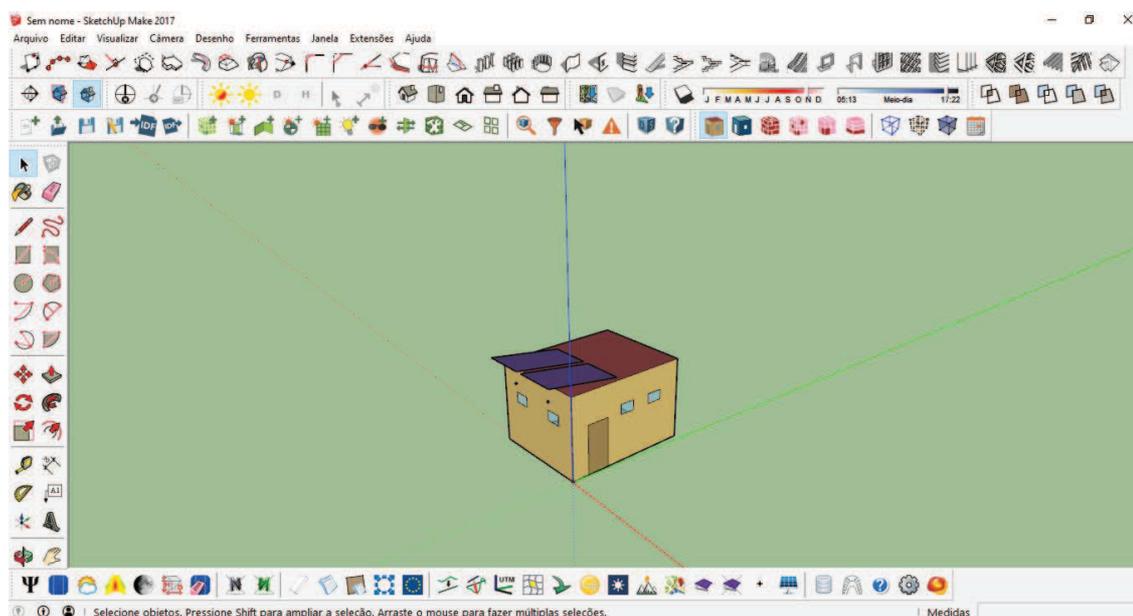


Figura 26 - Modelo volumétrico da edificação com cobertura FV desenvolvido no SketchUp.



3.7.2 Características da modelagem da edificação

A avaliação do desempenho térmico foi realizada para o LEA-UFC, que possui forma retangular e conta com área construída de 20 m², sendo as dimensões de 5,0 m de largura, 4,0 m de comprimento e pé direito de 2,95 m de altura, além da platibanda, que está disposta em todo o perímetro superior da cobertura, com altura de 60 cm.

As paredes da edificação são constituídas de alvenaria, com tijolo cerâmico de 8 furos (9 x 19 x 19), com espessura total de 12 cm, sendo 9 cm do bloco, 1,5 cm de reboco interno e 1,5 cm de reboco externo. A pintura é na cor branca ($\alpha=0,2$). A transmitância total da parede é de 2,24 W/m²K.

A cobertura da edificação é composta de laje do tipo pré-moldada em concreto e enchimento de blocos cerâmicos, com espessura total de 12 cm, rebocada. A transmitância total da cobertura é de 1,93 W/m²K.

A edificação possui quatro aberturas para ventilação e iluminação com dimensões de 0,60 m de comprimento por 0,40 m de altura cada, totalizado uma área de 0,96 m². Estas janelas são compostas por esquadrias de ferro e vidro simples de 3 mm de espessura.

Para a simulação com cobertura FV, os módulos FV estão dispostos 60 cm acima da laje de cobertura da edificação.

É considerado o clima da cidade de Fortaleza que está localizado na zona bioclimática 1, com a seguinte geolocalização dos modelos: latitude: 3°44'14.82"S e longitude: 38°34'21.97"O.

3.7.3 Parâmetros construtivos no Open Studio

Os parâmetros dos elementos construtivos são considerados de acordo com as especificações do LEA-UFC; os dados destes elementos foram inseridos na simulação por meio do software Open Studio 3.3.0.

As tabelas 03, 04 e 05 apresentam a lista de materiais constituintes do edifício, assim como suas camadas e respectivas propriedades térmicas.

Tabela 3 - Elementos construtivos da edificação.

Elemento Construtivo	Camada
Janela	Vidro comum
Parede Externa	Textura, reboco e bloco cerâmico
Piso	Laje de concreto, argamassa e cerâmica
Porta	Alumínio
Teto Concreto	Textura e laje de concreto

Tabela 4 - Propriedades Térmicas dos Materiais.

Material	Espessura [m]	Condutividade [W/mK]	Densidade [kg/m ³]	Calor [J/kgK]	Absortância [α]	Emissividade [ε]
Textura Acrílica	0,010	0,40	1300	1000	0,70	0,85
Bloco Cerâmico	0,010	0,90	1500	920	0,70	0,85
Argamassa	0,005	1,15	2000	1000	0,70	0,85
Cerâmica	0,005	0,90	1500	920	0,20	0,85
Laje de concreto	0,010	1,75	2300	1000	0,70	0,85

Fonte: Leite, 2016.

Tabela 5 - Propriedades Térmicas do Vidro.

Material	Fator Solar [W/m ² K]	Térmica [W/m ² K]
Vidro Comum	0,86	5780

Fonte: Leite, 2016.

3.7.4 Simulação no EnergyPlus

O programa de simulação computacional EnergyPlus, versão 9.6.0, desenvolvido sob coordenação do DOE, Departamento de Energia dos EUA (DOE, 2015) é adotado. Esse programa é validado pela ANSI/ASHRAE Standard 140 para a análise térmica (ASHRAE, 2011), atendendo ao critério estabelecido na NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

São realizadas duas diferentes simulações no EnergyPlus v.9.6.0, a fim de obter os dados para comparação com os obtidos in loco. A primeira simulação foi baseada nos parâmetros da edificação representada na Figura 04, que apresenta o modelo volumétrico da edificação sem cobertura FV.

A segunda simulação, representada na Figura 05, adicionou à anterior os módulos FV instalados 60 cm acima da laje de cobertura da edificação, ocasionando sombreamento na mesma.

Para a simulação em estudo, é considerado o clima da cidade de Fortaleza/CE que está localizado na zona bioclimática 1. O arquivo climático aplicado para a simulação no software EnergyPlus é BRA_Fortaleza-Pinto.Mar.823980_SWERA. Este arquivo é referente à localização do edifício, com a seguinte geolocalização dos modelos: latitude: 3°44'14.82"S e longitude: 38°34'21.97"O.

A configuração do período de simulação é realizada para o intervalo de outubro de 2019 a setembro de 2020, coincidindo com o período de medições in loco.

Para adequar os modelos às medições realizadas, considerou-se que não existem cargas de equipamentos, iluminação ou a ocupação de pessoas no ambiente.

Os modelos foram configurados para assumir que as janelas estão abertas durante o dia, servindo como circulação da ventilação natural. Esta estratégia foi configurada na aba Thermalzone/Zone, Ventilation Design Flow Rate e na aba Measures/Envelope/Fenestration/Add Wing and Stack Open Area.

4 RESULTADOS

A presente análise é realizada através dos dados de temperatura interna da laje da edificação, temperatura ambiente interna do LEA e da temperatura ambiente externa à edificação, para dias selecionados dos meses de outubro a dezembro de 2019 (período sem chuvas em Fortaleza) e janeiro, março e abril de 2020 (período chuvoso em Fortaleza). O objetivo é entender a influência de módulos FV no comportamento térmico da edificação e suas características nas condições locais.

O dia de cada mês em estudo que mais se aproxima da média mensal de variação da temperatura interna da laje e de variação da temperatura ambiente interna foi selecionado como dia representativo para fins de representação gráfica na presente dissertação.

Inicialmente são analisados os dados de temperatura interna da laje com cobertura FV e da laje sem qualquer cobertura, nos meses de outubro a dezembro de 2019. Em seguida, nos meses de janeiro, março e abril de 2020, são observados os dados de temperatura ambiente interna do LEA com cobertura FV e sem cobertura FV.

Além disso, são realizadas simulações, para obtenção da temperatura e umidade interna, através do EnergyPlus para a edificação sem a instalação de módulos FV e, posteriormente, com a utilização de módulos FV acima da cobertura da edificação, causando sombreamento na mesma. Todas as simulações são feitas com dados climáticos da cidade de Fortaleza e considera-se a edificação com ventilação natural.

4.1 Temperatura interna da laje do LEA

Resumos dos dados obtidos durante o período de medição, de outubro a dezembro de 2019, são apresentados nas Tabelas 6 a 8, onde é possível ver as datas de aferições, a temperatura interna da laje média diária e mensal, para a edificação coberta com FV e sem qualquer cobertura, e a variação das mesmas.

Em todos os dias considerados, não ocorreu interferência humana no local e foi analisado o período de 24 horas.

O dia que mais se aproxima da média em cada mês é o dia 09/10/2019, 08/11/2019 e 21/12/2019, logo são os dias representativos.

A amplitude térmica média da laje para o mês de outubro, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, é de 1,90°C. Ou seja, a laje com cobertura FV tem, em média, 1,90°C a menos na sua temperatura interna do que a laje sem cobertura FV. Já nos meses de novembro e dezembro esse valor sobe para 2,39°C e 2,50°C respectivamente.

Durante o mês de outubro a amplitude térmica média diária da laje varia entre o valor mínimo de 1,47°C e máximo de 2,62°C. Já para novembro e dezembro ocorrem variações entre 2,19°C a 2,59°C e 1,89°C a 2,89°C, respectivamente.

Tabela 6- Dados de temperatura interna da laje do LEA em outubro de 2019.

DATA	Temperatura interna da laje com cobertura FV	Temperatura interna da laje sem cobertura FV	ΔT (°C)
9/10	34,54	36,69	1,90
10/10	34,40	36,34	1,93
13/10	34,66	36,33	1,52
18/10	34,90	36,36	1,51
19/10	34,95	36,57	1,47
20/10	34,60	35,93	1,54
25/10	35,23	37,77	2,32
26/10	35,11	37,74	2,62
27/10	35,39	37,84	2,38
MÉDIA	34,90	36,57	1,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Dados de temperatura interna da laje do LEA em novembro de 2019.

DATA	Temperatura interna da laje com cobertura FV	Temperatura interna da laje sem cobertura FV	ΔT (°C)
1/11	34,54	37,27	2,45
2/11	34,78	37,51	2,50
3/11	34,67	37,29	2,59
8/11	35,53	38,26	2,39
9/11	35,34	37,80	2,19
10/11	35,08	37,38	2,29
15/11	34,98	37,27	2,42
16/11	35,11	37,65	2,32
17/11	35,11	37,51	2,19
MÉDIA	35,08	37,51	2,39

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8- Dados de temperatura interna da laje do LEA em dezembro de 2019.

DATA	Temperatura interna da laje com cobertura FV	Temperatura interna da laje sem cobertura FV	ΔT (°C)
11/12	35,11	37,86	2,75
14/12	36,20	38,62	2,41
15/12	35,43	38,01	2,59
16/12	35,12	37,69	2,57
17/12	35,71	38,20	2,49
20/12	35,19	37,08	1,89
21/12	35,60	38,11	2,51
22/12	35,32	38,22	2,89
30/12	34,06	36,23	2,17
31/12	33,52	35,43	1,90
MÉDIA	35,25	37,94	2,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

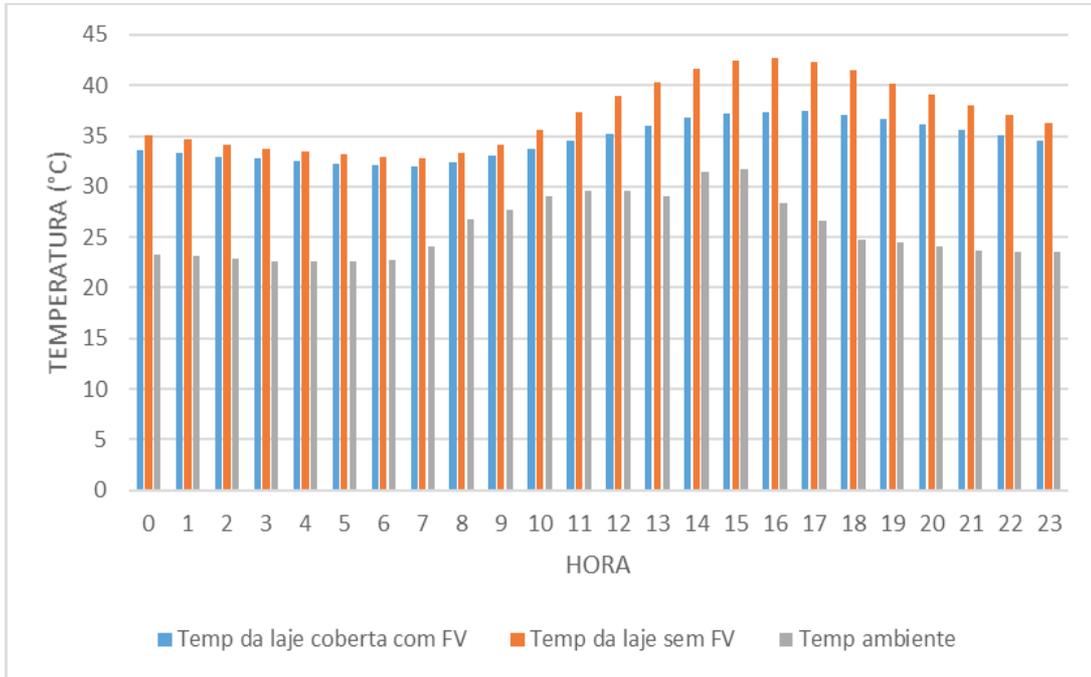
Os dados referentes à temperatura interna da laje e à temperatura ambiente externa à edificação foram organizados conforme as Figura 27 a 29. É possível observar as variações de temperatura interna da laje e externa à edificação, por hora, para o dia representativo de outubro, novembro e dezembro de 2019, respectivamente.

Avaliando os dados, observa-se que em todos os horários do dia dos meses analisados a temperatura ambiente externa é menor que a temperatura interna da laje da edificação com cobertura FV e esta é menor que a temperatura interna da laje da edificação sem cobertura FV.

No mês de outubro, de acordo com a Figura 27, a temperatura ambiente externa varia entre o valor mínimo de 22,54°C e máximo de 31,77°C, as 5 horas e as 15 horas, respectivamente. Já para temperatura interna da laje, a variação com cobertura FV é de 31,98°C e 37,44°C, nos horários de 7h e 17h, e sem cobertura FV varia entre 32,78°C e 42,69°C, nos horários de 7h e 16h, de modo respectivo.

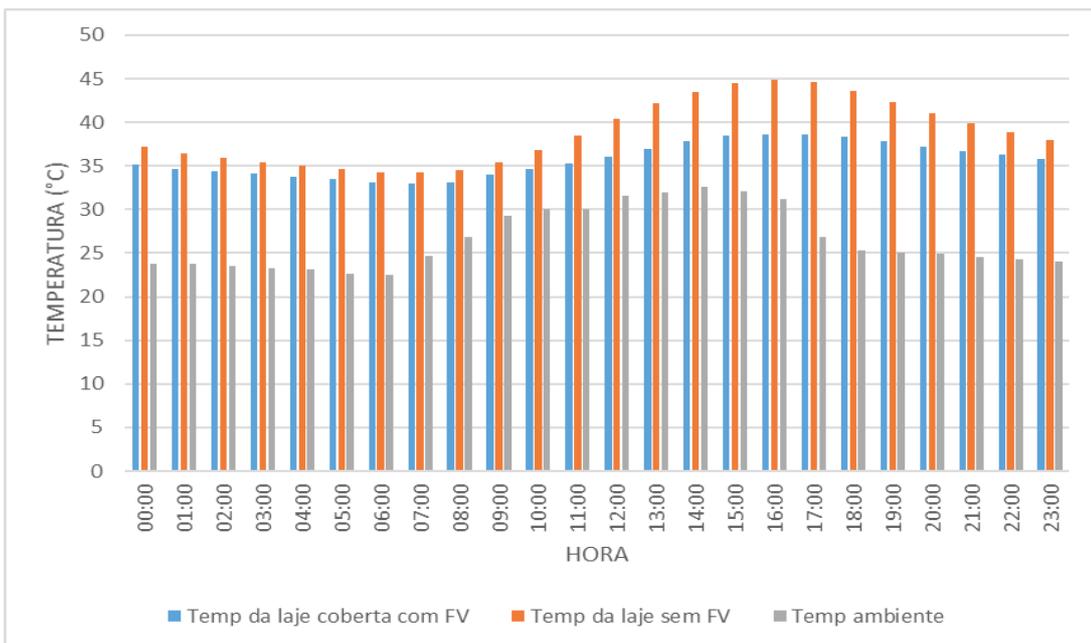
Em novembro, conforme Figura 28, a temperatura ambiente externa varia entre o valor mínimo de 22,48°C e máximo de 32,55°C, as 6 horas e as 14 horas, respectivamente. Já para temperatura interna da laje, a variação com cobertura FV é de 32,98°C e 38,66°C, nos horários de 7h e 17h, e sem cobertura FV varia entre 34,23°C e 44,83°C, nos horários de 7h e 16h, respectivamente.

Figura 27- Temperatura interna da laje coberta com FV, temperatura interna da laje sem cobertura FV e temperatura ambiente externa para o dia representativo de outubro, 09/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

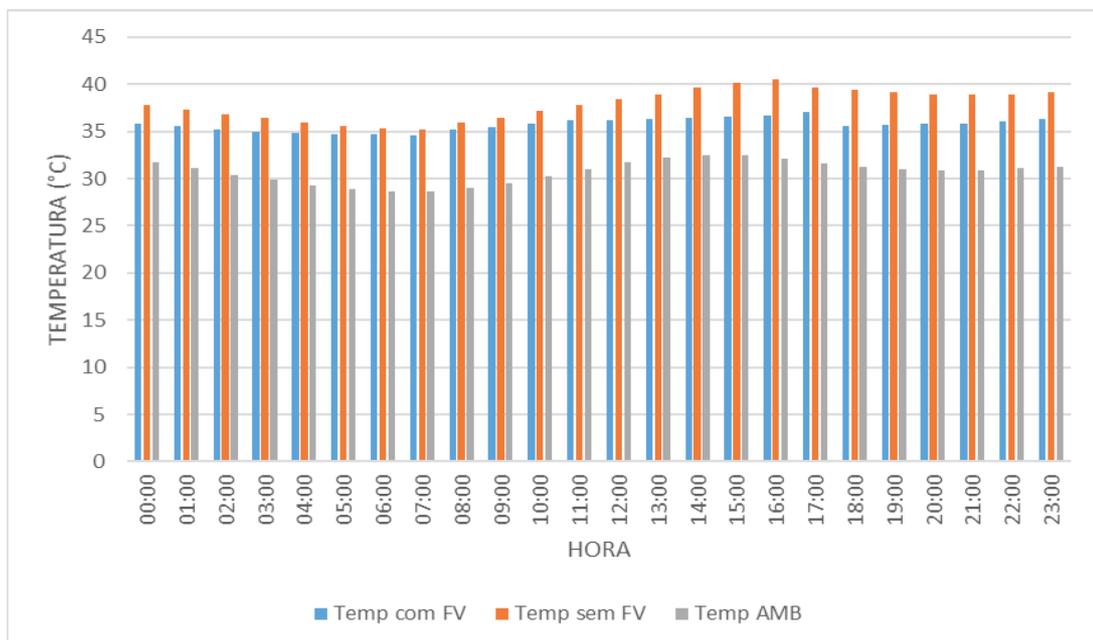
Figura 28 - Temperatura interna da laje coberta com FV, temperatura interna da laje sem cobertura e da temperatura ambiente externa para o dia representativo de novembro, 08/11/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 29 são visualizados os dados de temperatura ambiente externa que apresenta variação entre o valor mínimo de 28,67°C e máximo de 32,48°C, no horário de 6 horas e 14 horas, respectivamente. Já para temperatura interna da laje, a variação com cobertura FV é de 34,62°C e 37,05°C, nos horários de 7h e 17h, e sem cobertura FV varia entre 35,23°C e 40,53°C, nos horários de 7h e 16h, de modo respectivo.

Figura 29 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e da temperatura ambiente externa para o dia representativo de dezembro, 21/12/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No interior da edificação, para o dia representativo, são obtidas amplitudes térmicas da laje com intensidade mínima de 0,76°C e máxima 5,31°C para outubro, em relação à utilização ou não de FV. Já para o mês de novembro, o pico de amplitude térmica alcança valores de 1,13°C e 6,18°C, e para o mês de dezembro varia entre 1,17°C e 6,25°C, em relação a utilização ou não de FV, respectivamente. Em todos os meses em estudo a ocorrência de amplitudes térmicas mínimas ocorre às 6 horas e a máxima às 16 horas.

Com a utilização de módulos FV os valores de temperatura registrados estão, com maior frequência, mais próximos uns dos outros. Já no ambiente sem cobertura há maior dispersão dos dados, indicando maior variação de temperatura e, conseqüentemente, menor estabilidade térmica. Este fato pode ser constatado através do desvio padrão dos dados do mês de outubro de 2019, onde é registrado um valor de 1,92°C para a laje sombreada por FV e

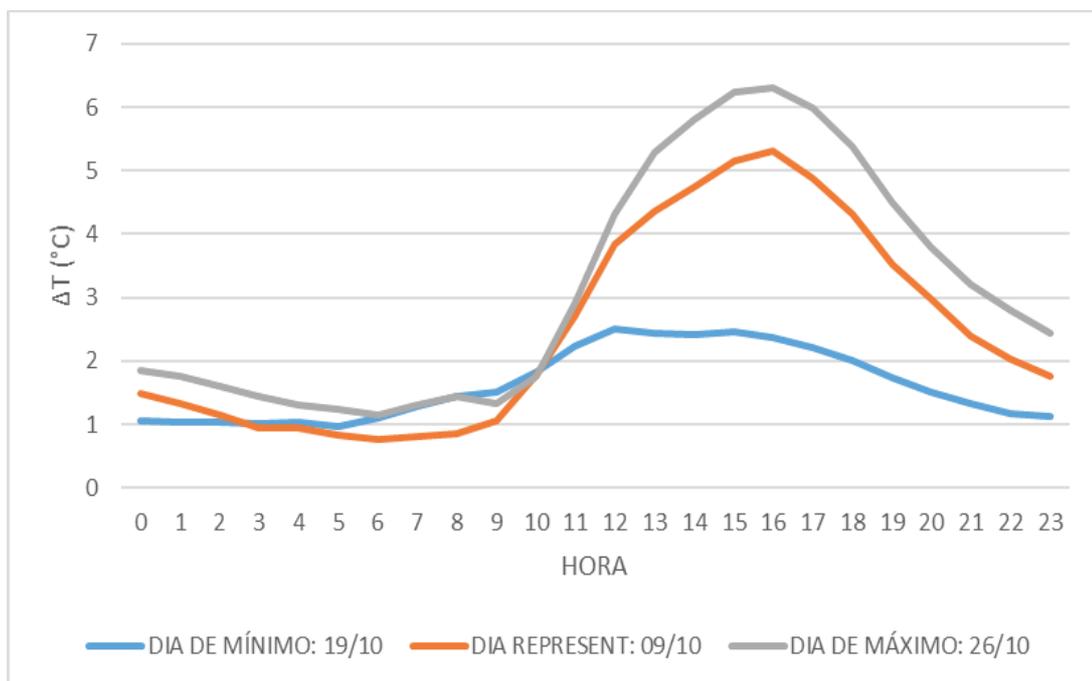
3,85°C para a laje sem nenhum tipo de sombreamento.

No mês de outubro a amplitude térmica interna diária da laje é observada como máxima no dia 26/10, com uma média de 2,62°C. Já no dia 19/10 é verificada uma amplitude média horária de 1,47°C, sendo o mínimo para o período. Esses dados podem ser visualizados na Figura 30.

Os dados para novembro são vistos na Figura 31, onde se verifica que a variação de temperatura interna máxima diária da laje ocorre no dia 03/11 e a mínima no dia 09/11, com uma média de 2,59°C e 2,19°C respectivamente.

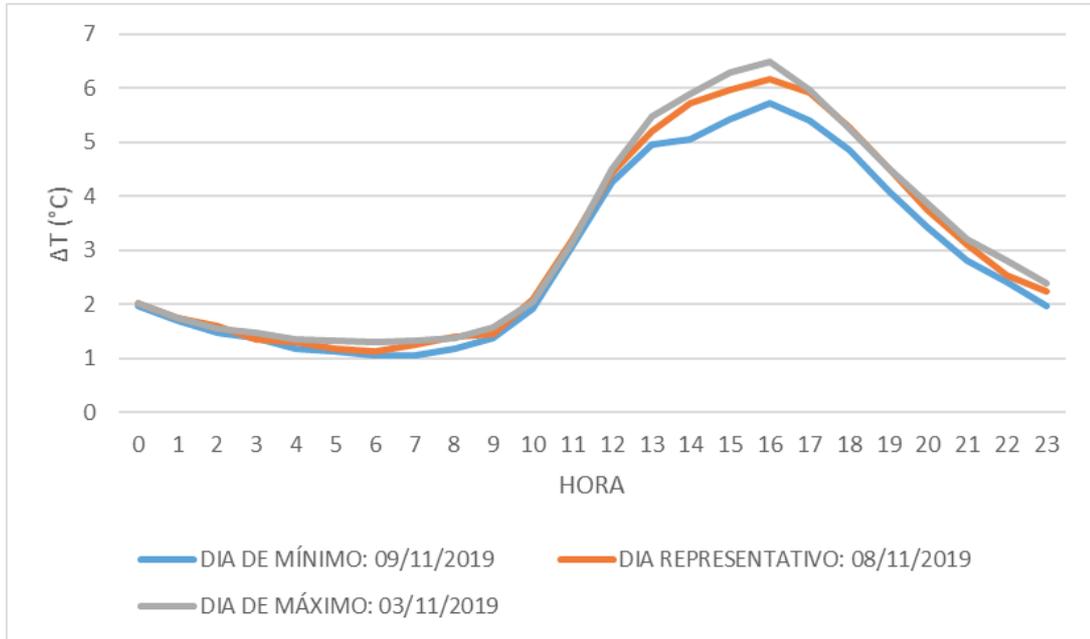
No mês de dezembro a amplitude térmica da laje interna máxima diária é observada no dia 22/12, com uma média de 2,89°C. Já no dia 20/12 é verificada uma amplitude média horária de 1,89°C, sendo o mínimo para o período. Esses dados podem ser visualizados na Figura 32.

Figura 30 - Amplitude térmica média da laje, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo do mês de outubro de 2019.



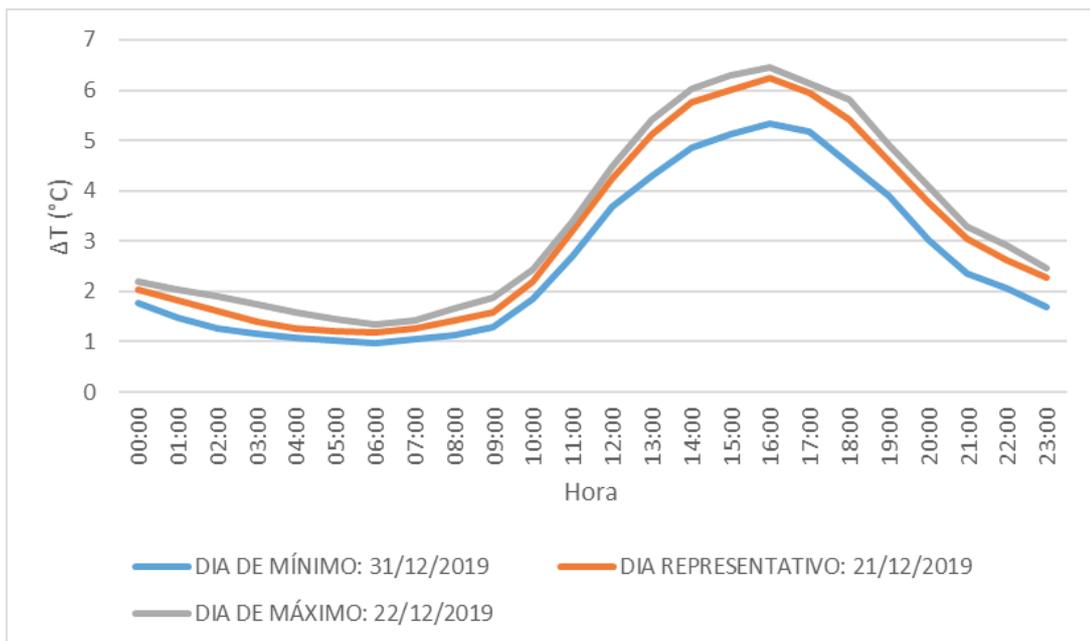
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - A amplitude térmica média da laje, quando comparada com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e do dia representativo em novembro de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - A amplitude térmica média da laje, quando comparada com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e do dia representativo em dezembro de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As reduções de temperatura interna da laje mais significativas devido à utilização de módulos FV na cobertura, com variações entre 4°C a 6°C, ocorrem entre 12 e 19 horas. Além disso, a utilização de módulos FV ocasiona redução média de 6% na temperatura interna da laje da edificação, fato que impacta a temperatura interna do ambiente.

4.2 Temperatura ambiente interna do LEA

Um resumo dos dados obtidos durante o período de medição de janeiro, março e abril de 2020 é apresentado nas Tabelas 9 a 11, com as datas de aferições, a temperatura ambiente interna média diária e mensal, para a parte da edificação coberta com FV e para a parte da edificação sem qualquer cobertura, e a variação das mesmas.

O dia que mais se aproxima da média em cada mês é o dia 06/01/2020, 21/03/2020 e 13/04/2020, logo são os dias representativos.

Tabela 9- Dados de temperatura ambiente interna média do LEA em janeiro de 2020.

DATA	Temperatura interna da edificação com cobertura FV	Temperatura interna da edificação sem cobertura FV	ΔT (°C)
01/01/2020	32,60	34,27	1,67
02/01/2020	32,40	33,36	0,96
03/01/2020	33,88	35,56	1,67
04/01/2020	34,47	35,87	1,40
05/01/2020	34,49	35,76	1,27
06/01/2020	34,86	36,14	1,28
07/01/2020	34,98	36,15	1,17
11/01/2020	34,37	35,76	1,40
12/01/2020	34,66	36,00	1,33
13/01/2020	35,10	36,18	1,08
14/01/2020	33,70	35,11	1,41
15/01/2020	32,68	33,77	1,09
16/01/2020	33,51	35,42	1,91
19/01/2020	34,76	35,95	1,19
MÉDIA	34,42	35,76	1,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10- Dados de temperatura ambiente interna do LEA em março de 2020.

DATA	Temperatura interna da edificação com cobertura FV	Temperatura interna da edificação sem cobertura FV	ΔT (°C)
10/03/2020	33,51	34,51	0,91
11/03/2020	33,14	34,18	1,03
12/03/2020	32,52	33,26	0,74
14/03/2020	31,71	32,60	0,89
15/03/2020	31,64	32,56	0,89
16/03/2020	32,32	33,64	1,27
17/03/2020	32,67	34,08	1,41
20/03/2020	33,65	34,96	1,31
21/03/2020	33,73	34,86	1,18
22/03/2020	34,52	36,05	1,19
23/03/2020	35,33	36,69	1,23
27/03/2020	34,36	35,58	1,05
28/03/2020	34,56	35,91	1,20
29/03/2020	34,95	36,36	1,19
31/03/2020	32,51	33,16	0,63
MÉDIA	33,51	34,51	1,18

Fonte: Elaborado pelo autor.

A amplitude térmica ambiente média para o mês de janeiro, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, é de 1,30°C. Ou seja, a parte da edificação com cobertura FV tem, em média, 1,30°C a menos na sua temperatura interna do que a parte da edificação sem cobertura FV. Já nos meses de março e abril esse valor reduz para 1,18°C e 1°C respectivamente.

No LEA a amplitude térmica ambiente média diária varia entre o valor mínimo de 0,96°C e máximo de 1,91°C para o mês de janeiro. Já para março e abril ocorrem variações entre 0,63°C a 1,41°C e 0,58°C a 1,35°C, respectivamente.

Nas Figuras 33 a 35 são analisados os dados referentes à temperatura interna da edificação. É possível observar as variações de temperatura interna e externa à edificação, por hora, para o dia representativo de janeiro, março e abril de 2020.

Tabela 11 - Dados de temperatura ambiente interna do LEA em abril de 2020.

DATA	Temperatura interna da edificação com cobertura FV	Temperatura interna da edificação sem cobertura FV	ΔT (°C)
01/04/2020	32,75	33,73	0,98
02/04/2020	34,19	35,47	1,28
03/04/2020	34,33	35,38	1,30
04/04/2020	32,84	33,58	0,71
05/04/2020	34,04	35,26	1,22
06/04/2020	34,08	35,22	1,15
10/04/2020	33,89	35,14	1,23
11/04/2020	33,66	34,57	0,95
12/04/2020	34,20	35,57	1,35
13/04/2020	33,65	34,74	1,01
17/04/2020	32,15	32,98	0,83
18/04/2020	32,23	33,08	0,89
19/04/2020	33,49	34,84	1,35
20/04/2020	34,33	35,33	0,91
24/04/2020	31,51	32,16	0,66
25/04/2020	31,65	32,22	0,58
MÉDIA	33,66	34,84	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

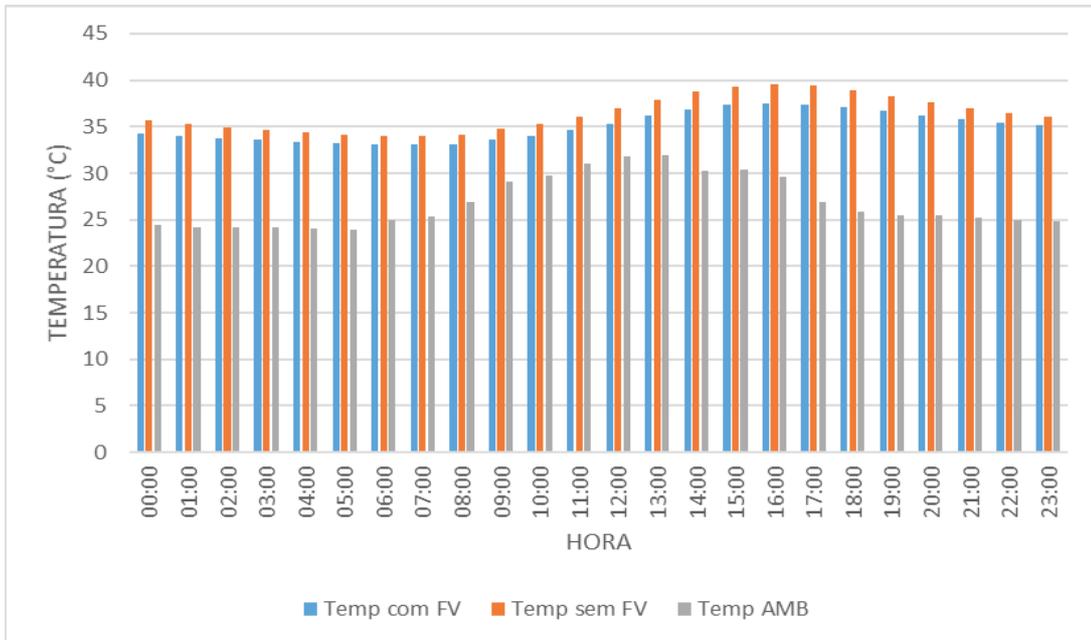
Observa-se que em todos os horários do dia dos meses analisados, a temperatura ambiente externa é menor que a temperatura interna da edificação com FV e esta é menor que a temperatura interna da edificação sem cobertura FV.

No mês de janeiro de 2020, a temperatura ambiente externa varia entre o valor mínimo de 23,92°C e máximo de 31,95°C, às 5 horas e às 13 horas, respectivamente. Já para temperatura ambiente interna, a variação com cobertura FV é de 33,05°C e 37,48°C, nos horários de 7h e 16h, e sem cobertura FV varia entre 33,95°C e 39,59°C, nos horários de 6h e 16h, de modo respectivo, como pode ser observado na Figura 33.

No mês de março de 2020, a temperatura ambiente externa varia entre o valor mínimo de 20,91°C e máximo de 30,96°C, as 5 horas e as 11 horas, respectivamente. Já para temperatura ambiente interna, a variação com cobertura FV é de 32,16°C e 35,47°C, nos

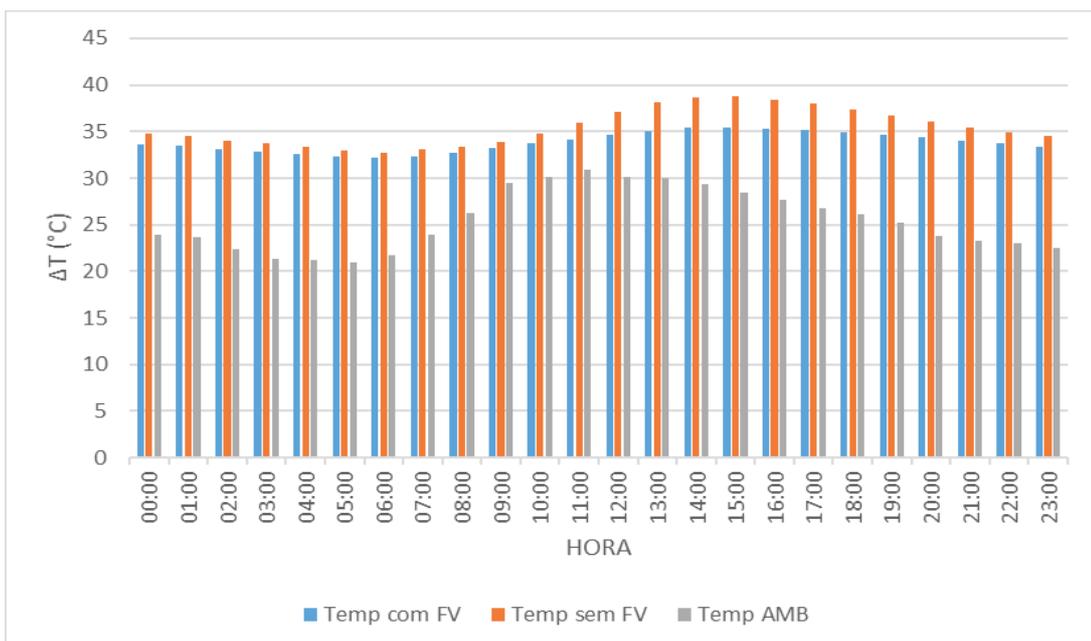
horários de 6h e 15h, e sem cobertura FV varia entre 32,72°C e 38,72°C, nos horários de 6h e 15h, de modo respectivo, expostos na Figura 34.

Figura 33 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de janeiro, dia 06/01/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

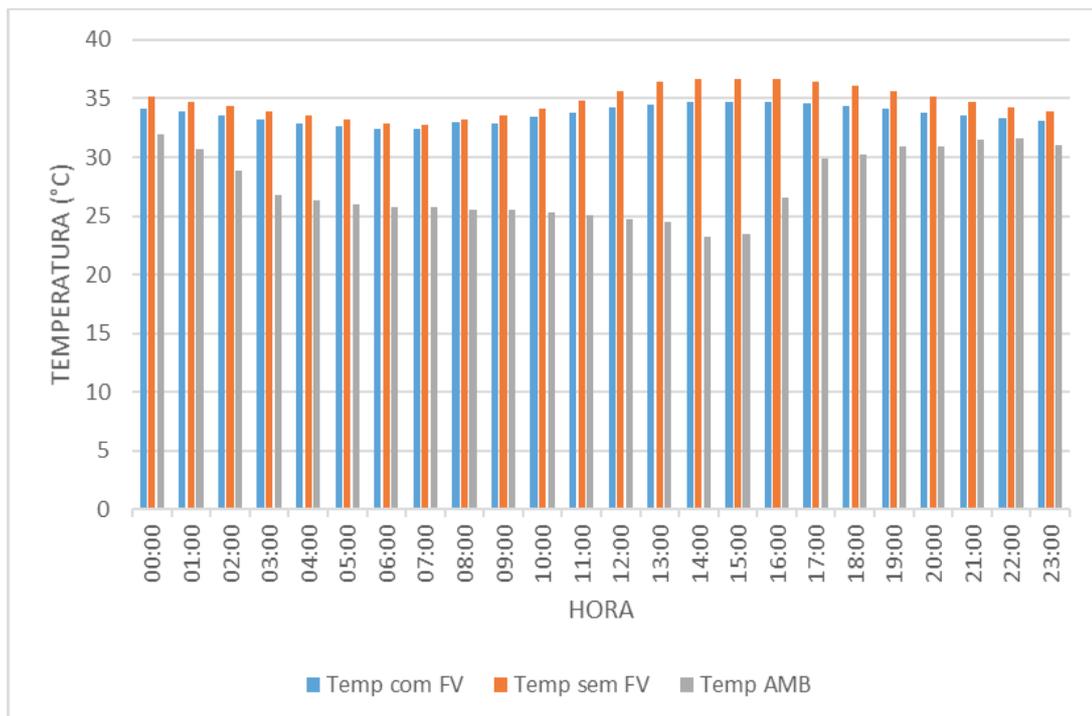
Figura 34 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de março, dia 21/03/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 35 podem ser analisados os dados do mês de abril de 2020, onde a temperatura ambiente externa varia entre o valor mínimo de 21,01°C e máximo de 30°C, as 5 horas e as 12 horas, respectivamente. Já para temperatura ambiente interna, a variação com cobertura FV é de 32,37°C e 34,74°C, nos horários de 7h e 15h, e sem cobertura FV varia entre 32,80°C e 36,63°C, nos horários de 7h e 16h, de modo respectivo.

Figura 35 - Temperatura interna do LEA com cobertura FV, temperatura interna sem cobertura e temperatura ambiente externa para o dia representativo de abril, dia 13/04/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No interior da edificação são obtidas amplitudes térmicas mínimas às 6 horas e máximas às 16 horas, com a intensidade de 0,84°C e 2,11°C respectivamente, em relação a utilização ou não de FV, para o dia representativo do mês de janeiro. Já para o mês de março, o pico de amplitude térmica alcança valores de 0,56°C e 3,26°C, nos horários de 6 horas e 14 horas de modo respectivo, e para o mês de abril varia entre 0,31°C e 1,94°C, com ocorrência de amplitude térmica mínimas às 8 horas e máximas às 16 horas.

Com a utilização de módulos FV os valores de temperatura registrados estão, com maior frequência, mais próximos uns dos outros. Já no ambiente sem cobertura há maior amplitude dos dados, indicando maior variação de temperatura e, conseqüentemente, menor estabilidade térmica. Este fato pode ser constatado através do desvio padrão dos dados do período, onde é registrado um valor de 0,74 para a temperatura ambiente interna com

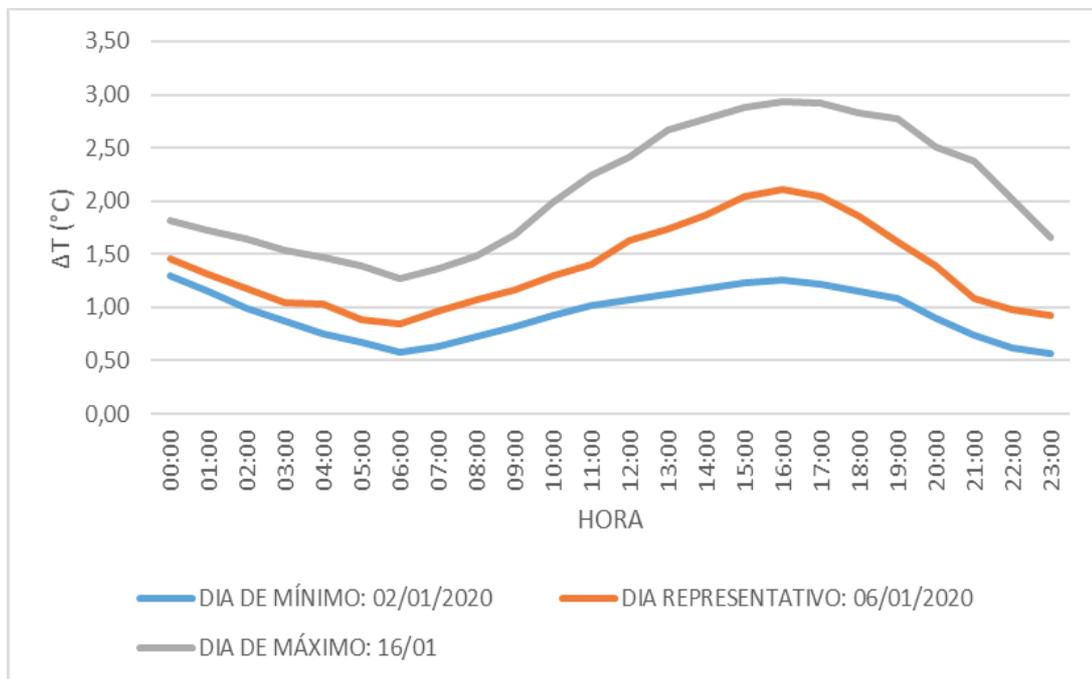
cobertura FV e 1,27 para a temperatura ambiente interna que não possui sombreamento FV.

No mês de janeiro de 2020, a amplitude térmica da temperatura ambiente interna máxima diária do LEA é observada no dia 16/01, com uma média de 1,91°C. Já no dia 02/01 é verificada uma amplitude média horária de 0,96°C, sendo o mínimo para o período. Esses dados podem ser visualizados na Figura 36.

Os dados para março de 2020 são vistos na Figura 37, onde se verifica que a variação de temperatura ambiente interna máxima diária da laje ocorre no dia 17/03 e a mínima no dia 31/03, com uma média de 1,41°C e 0,63°C respectivamente.

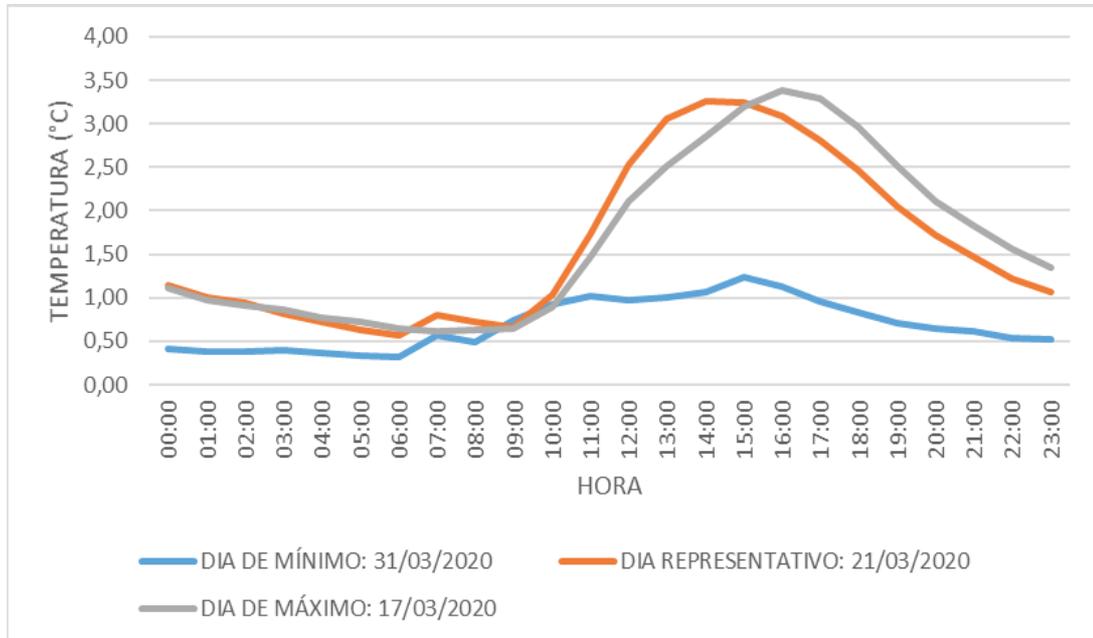
No mês de abril de 2020 a amplitude térmica da temperatura ambiente interna máxima diária é observada no dia 19/04, com uma média de 1,35°C. Já no dia 25/04 é verificada uma amplitude média horária de 0,58°C, sendo o mínimo para o período. Esses dados podem ser visualizados na Figura 38.

Figura 36 - Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em janeiro de 2020.



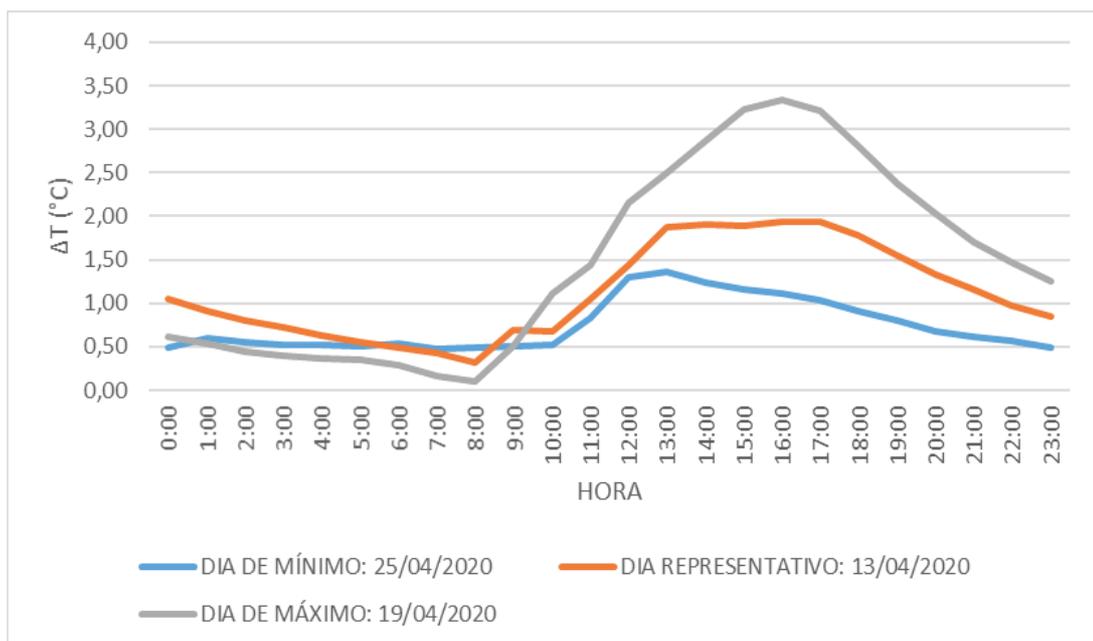
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 -Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em março de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Amplitude térmica média da temperatura interna do LEA, quando comparado com a utilização ou não de cobertura FV, no dia de mínima variação, no dia de máxima variação e no dia representativo em abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As maiores reduções de temperatura ambiente interna, devido à utilização de módulos FV na cobertura, ocorrem entre os horários de 12 a 19 horas, com variações entre 1°C a 3,5°C.

A utilização de módulos FV ocasiona redução média de 3% na temperatura ambiente interna da edificação.

4.3 Temperatura e umidade simuladas no EnergyPlus

Resumos dos dados obtidos para o período de simulação, de outubro de 2019 a setembro de 2020, são apresentados na Tabela 12, onde é possível ver os meses de aferições e a temperatura interna média mensal, para a edificação com cobertura sombreada por módulos FV e sem qualquer sombreamento, e a variação das mesmas.

As variações de temperatura, no período considerado, são, em média, de 0,1°C, e máxima de 0,2°C.

A tabela 13 mostra a umidade interna para cada mês do período simulado, de outubro de 2019 a setembro de 2020, para edificação sem módulos FV acima da cobertura e para a edificação sombreada por módulos FV, além da variação das mesmas.

As variações de umidade interna são, em média, de 0,4%, e máxima de 0,7%.

Tabela 12 - Dados simulados de temperatura ambiente interna do LEA no período de outubro/2019 a setembro/2020.

Data	Temperatura sem sombreamento por FV (°C)	Temperatura com sombreamento por FV (°C)	ΔT (°C)
Outubro/2019	27,4	27,4	0,0
Novembro/2019	27,7	27,5	0,2
Dezembro/2019	27,6	27,4	0,2
Janeiro/2020	28,0	27,8	0,2
Fevereiro/2020	27,7	27,7	0,0
Março/2020	26,6	26,6	0,0
Abril/2020	27,3	27,1	0,2
Mai/2020	27,0	27,0	0,0
Junho/2020	27,4	27,4	0,0
Julho/2020	26,7	26,7	0,0
Agosto/2020	26,9	26,8	0,1
Setembro/2020	27,5	27,4	0,1
Média	27,3	27,2	0,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Dados simulados de umidade interna do LEA no período de outubro/2019 a setembro/2020.

Data	Umidade do ar sem sombreamento por FV (%)	Umidade do ar com sombreamento por FV (%)	ΔT (°C)
Outubro/2019	75,6	75,8	0,2
Novembro/2019	75,4	76	0,6
Dezembro/2019	78,1	78,6	0,5
Janeiro/2020	78,6	79,3	0,7
Fevereiro/2020	80,4	80,7	0,3
Março/2020	87,3	87,8	0,5
Abril/2020	82,3	83	0,7
Maio/2020	81,6	81,7	0,1
Junho/2020	78,6	78,6	0
Julho/2020	79,9	79,9	0
Agosto/2020	76,3	76,6	0,3
Setembro/2020	75,3	75,6	0,3
Média	79,1	79,5	0,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa visa avaliar os impactos de módulos FV instalados na cobertura de uma edificação sobre o desempenho térmico dos prédios para as condições climáticas específicas de Fortaleza/CE. Os dados de temperatura ambiente interna e externa, além da temperatura da laje, foram obtidos por meio de sensores de temperatura instalados no LEA-UFC, em duas áreas da edificação, uma com e outra sem cobertura FV. As informações foram coletadas e organizadas para os meses de outubro a dezembro de 2019 e janeiro, março e abril de 2020, em dias específicos, nos quais não havia interferência humana dentro do ambiente construído. A partir dos dados coletados, foram construídos gráficos a fim analisar a intensidade e dispersão da amostra. Em seguida, foram realizadas simulações computacionais para análise térmica de temperatura e umidade interna através da utilização dos programas SketchUp, que é utilizado para a modelagem 3D da edificação utilizada na simulação, OpenStudio, que é um plugin utilizado para que desenhos feitos no SketchUp sejam inseridos no *EnergyPlus* que, por sua vez, tem a função de realizar a simulação dos dados no período de outubro de 2019 a setembro de 2020.

Em relação à temperatura da laje, observou-se uma redução média de $2,26^{\circ}\text{C}$, equivalente a 6%, da temperatura da laje sombreada com módulos FV em comparação ao ambiente sem qualquer tipo de sombreamento, alcançando amplitude térmica máxima de até $6,25^{\circ}\text{C}$. Além disso, o desvio padrão dos dados é de 1,92 para a laje sombreada por FV e 3,85 para a laje sem nenhum tipo de sombreamento, fato que indica maior estabilidade térmica dos ambientes internos sombreados com módulos FV frente às amplitudes térmicas dos ambientes sem cobertura de módulos FV.

Em relação à temperatura ambiente interna da edificação, observou-se uma redução média de $1,16^{\circ}\text{C}$, equivalente a 3%, da temperatura do ambiente que possui cobertura sombreada por módulos FV em comparação ao ambiente sem qualquer tipo de sombreamento, alcançando amplitude térmica máxima de até $3,26^{\circ}\text{C}$. O desvio padrão dos dados do período é de 0,74 para a temperatura ambiente interna com cobertura FV e 1,27 para a temperatura ambiente interna sem sombreamento FV. Este fato indica novamente a maior estabilidade térmica dos ambientes internos com cobertura sombreada com módulos FV.

Em todos os dias dos meses analisados a temperatura ambiente externa é menor que a temperatura interna da edificação com cobertura FV e esta é menor que a temperatura interna da edificação sem cobertura FV.

Na simulação computacional com o *EnergyPlus*, em um primeiro momento são

verificadas a temperatura e umidade interna da edificação, conforme as características de construção, sem a utilização de módulos FV em sua cobertura e são analisados os mesmos parâmetros térmicos para a edificação com a cobertura sombreada por módulos FV. As variações de temperatura, no período considerado, são, em média, de 0,1°C, e máxima de 0,2°C e de umidade interna são, em média, de 0,4%, e máxima de 0,7%.

A diferença entre os valores medidos e simulados pode indicar necessidade de maior precisão da metodologia usada nos programas, considerando condições climáticas específicas do semiárido brasileiro.

TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões de pesquisas aprofundando o estudo feito no LEA sobre os temas abordados são sugeridas para trabalhos futuros:

- Realizar coleta de dados por um período superior de tempo ao realizado neste trabalho, a fim de se ter um melhor entendimento do comportamento da temperatura na edificação;
- Realizar simulação matemática da temperatura interna do ambiente com sistema FV;
- Realizar simulação matemática da influência do sistema FV na redução do consumo de energia para aquecimento e/ou resfriamento;
- Realizar simulações com diferentes níveis de cobertura das edificações com módulos FV.

ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

RAMALHO, D. C. L.; CARVALHO, P. C. M. de; DUPONT, I. M.; CAVALCANTE, A. P. de H. Análise da influência de módulos fotovoltaicos no desempenho térmico de uma edificação. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza. 2020.

RAMALHO, D. C. L.; CARVALHO, P. C. M. de; CAVALCANTE, A. P. de H. Geração fotovoltaica em edificações: Revisão de literatura. **Congresso Internacional Virtual de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**, [S.L.], nov. 2020. Instituto Federal do Ceará.

RAMALHO, D. C. L.; CARVALHO, P. C. M. de; CAVALCANTE, A. P. de H. Geração fotovoltaica e sua influência na temperatura de edificações: revisão de literatura. **Congresso Internacional Virtual de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**, [S.L.], nov. 2020. Instituto Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações*. (2005). Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 8995-1: Norma de Iluminação de Ambientes*. (2013).

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Brasil) (org.). **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: infográfico. 2022. Atualizado em 04/04/2022 | nº 42. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 22 abril 2022.

AKATA, M.A.; NJOMO, D; MEMPOUO, B. The effect of building integrated photovoltaic system (BIPVS) on indoor air temperatures and humidity (Iath) in the tropical region of Cameroon. **Future Cities and Environment**, 1, p.1., 2015. DOI: <http://doi.org/10.1186/s40984-015-0002-y>

ALVORCEM, C. I. V.; SANTOS, Í. P. dos. Análise da viabilidade técnica na implantação de sistema de energia solar fotovoltaico em edifício histórico na cidade de Santa Maria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 140**: stadard method of test for the evaluation of building energy analys computer programs. Atlanta, GA: ASHRAE, 2011.

ANDRADE, Flávia de. **Estudo de caso: simulação computacional de desempenho energético do edifício da empresa MGD eficiência energética**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

ANEEL. Chamada Nº 013/2011 **Projeto Estratégico**: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2011.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012. Agência Nacional de

Energia Elétrica. 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 687**, de 24 de Novembro de 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015.

ARNETTE, A. N. Integrating rooftop solar into a multi-source energy planning optimization model. **Applied Energy**, [s.l.], v. 111, p.456-467, nov. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.003>.

ASHRAE. (2007). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*. ASHRAE 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low Rise Residential Buildings.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

BARRETO, S. da C. **Estudo de viabilidade para implementação de uma planta fotovoltaica integrada em um shopping center**. 2017. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. Avaliação de Desempenho Térmico de Componentes Construtivos Utilizando o EnergyPlus. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 145-154.

BILÉSIMO, T. L.; RAMPINELLI, G. A.; MARCELINO, R. Modelagem e simulação do desempenho termoenergético de uma edificação com arquitetura bioclimática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 9. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BILÉSIMO, T. L.; RAMPINELLI, G. A.; MARCELINO, R.. Medição e análise do desempenho termohigrométrico de uma edificação com estratégias bioclimáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 9. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BIONE, J. Análise do sistema de irrigação da região semi-árida do Nordeste, utilizando o bombeamento de água acionado por geradores fotovoltaicos com concentrado tipo V. Recife, 2006. 167p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2006.

BIYIK, E.; KAHRAMAN, A. A predictive control strategy for optimal management of peak load, thermal comfort, energy storage. **Journal Of Building Engineering**, [s.l.], v. 25, p.100826-100836, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2019.100826>.

BOTELHO, Renan Santos. **Utilização de sistemas fotovoltaicos na microgeração distribuída brasileira**. 2017. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19866/1/2017_RenanSantosBotelho_tcc.pdf. Acesso em: 03 fev. 2022.

CARLO, J. C. (2008). Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.

CASCAES, B. P.; RODRIGUES, L. J. Avaliação do potencial de geração de um SFCR em uma universidade no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 6. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 05 maio 2019.

COSTA, A. C. de A. **Metodologia de planejamento de planta fotovoltaicas integrada à edificação**: Estudo de caso para o instituto da primeira infância (IPREDE). 2017. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

COSTA, A. R. da et al., 2018. Análise da sustentabilidade da geração de eletricidade do Ceará. **Revista Tecnologia**, [s.l.], v. 39, n. 1, p.1-17, 29 jun. 2018. Fundação Edson Queiroz. <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2018.6766>.

COSTA, D. A. C. **Estimativa do potencial de geração fotovoltaica do Campus do Pici da UFC**. 2018. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

CRAWLEY, D. B. (2001). EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. . Em *Energy and Buildings* 33.4 (pp. 319-331).

CRAWLEY, D. B. (2005). *EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program*.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CUSTÓDIO, I. P. et al. Critérios e soluções adotados em projeto de estacionamento solar de 1 MWp em Florianópolis – SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CUSTÓDIO, I. P.; RÜTHER, R. Influência da integração de energia fotovoltaica a uma edificação na sua temperatura interna e no consumo energético da rede elétrica pública. **X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Balneário Camboriú, p. 1567-1576, 27 set. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326042261>. Acesso em: 17 nov. 2020.

DOE. (2013). *EnergyPlus Version 8.6 Documentation: Getting Started*. US Department of Energy.

DOE. (2015). Energy Plus v. 8.3. *Department of Energy*.

DOLLA, R. et al. Estimativa da produção energética e de desempenho de um sistema fotovoltaico integrado ao anteprojeto do aeroporto internacional de Florianópolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 8.

DOMINGUEZ, A.; KLEISSL, J.; LUVALL, J. C. Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer. **Solar Energy**, [s.l.], v. 85, n. 9, p.2244-2255, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.010>.

DUPONT, I. M. **Sistema embarcado linux para monitoramento em nuvem aplicado a bombeamento fotovoltaico**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ELLIOTT, D. Renewable energy and sustainable futures. **Futures**, [s.l.], v. 32, n. 3-4, p.261-274., 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-3287\(99\)00096-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-3287(99)00096-8).

FERREIRA, A. P.; SCOMPARIN, L. E.; CARIGNANI, G. Energia fotovoltaica em edifícios matogrossenses: viabilidade econômica e energética de janelas fotovoltaicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., Canela, 2010. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

FREITAS FILHO, M. F. **Análise da composição da sujidade em plantas fotovoltaicas instaladas na zona urbana de Fortaleza**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal do Ceará.

FREITAS, B. B. **Análise do potencial de geração fotovoltaica usando metodologia BIM**. 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

GENCHI, Y. et al. Impacts of large-scale photovoltaic panel installation on the heat island effect in Tokyo. **Fifth Conference on the Urban Climate**. 2003.

GOLDEN, Jay S. et al. A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures. **Solar Energy**, [s.l.], v. 81, n. 7, p.872-883, jul. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.11.007>.

GOUVEIA, B. de L. de F. Análise técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico no modelo de uma árvore na faculdade de tecnologia da Universidade de Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

GROSS, R.; LEACH, M.; BAUEN, A. Progress in renewable energy. **Environment International**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.105-122, abr. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0160-4120\(02\)00130-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0160-4120(02)00130-7).

HAAS, A.; ROHR, F.; SANTOS, Í. P. dos. Estudo para utilização de energia solar fotovoltaica

aplicada a escolas municipais na cidade de Cruz Alta-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 9.

HERNANDEZ, R. et al. Environmental impacts of utility-scale solar energy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 29, p.766-779, jan. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>.

IEA, International Energy Agency. Key World Energy Statistics 2018 [Internet]. 2018. [cited 2019 mai 18]. https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key_World_Energy_Statistics_2018.pdf

JONSSON, A.; ROOS, A. Evaluation of Control Strategies for Different Smart Window Combinations Using Computer Simulations. **Solar Energy**, v. 84, n. 1, p. 1-9. 2010.

KRASNHAK, L. B.; URBANETZ JUNIOR, J. Proposta de retrofit no sistema de iluminação e estudo de geração fotovoltaica em um dos blocos da UFPR em Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente**: Consumo e Geração de Energia. Florianópolis: UFSC, 2010, v. 2.

LEITE, B. (2016). *Simulação Computacional de Desempenho Energético de Edifícios: Propriedades Térmicas*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil.

MARCHWINSKI, J.; KURTZ-ORECKA, K.. Influence of photovoltaic installation on energy performance of a nursery building in Warsaw (Central European conditions). **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 32, p. 101630-101640, nov. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2020.101630>.

MASSON, V. et al. “Grand Paris”: regional landscape change to adapt city to climate warming. **Climatic Change**, [s.l.], v. 117, n. 4, p.769-782, 15 set. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0579-1>.

MASSON, V. et al. Solar panels reduce both global warming and urban heat island. **Frontiers**

In Environmental Science, [s.l.], v. 2, p.1-10, 4 jun. 2014. Frontiers Media SA.
<http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2014.00014>.

MELO FILHO, J. B. de; MATOS, G. de L. Telhados verdes integrados à tecnologia fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MENDES, N. e. (2005). Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído* 5.4.

MOREIRA, H. L.; BASTOS, A. M.; SANTOS, R. B. Análise comparativa da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos e eólicos para microgeração de energia elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

NICOLA, V. A. et al. Estudo e implementação de um estacionamento solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 7. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

NOVUS. Transmissor TxRail 4-20 mA. n. 51, p. 19–21, 2016.

NREL. (2015). *NREL - National Renewable Energy Laboratory. Open Studio v. 1.8.0*.

OMEGA ENGINEERING BRASIL. **Sensores Pt-100**. Disponível em: <<http://br.omega.com/prodinfo/pt100.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

PARIS JUNIOR, W. et al. Levantamento da geração distribuída compartilhada no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

REIS, B. A. de O.; JOTA, P. R. da S. Integração de fontes renováveis em edificações – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em:

<<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

RODRIGUES, M. de J. dos S. et al. Resultados experimentais de sombreamento parcial em módulos fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10.

RUPP, R. F., VÁSQUEZ, N.G., LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings** 105, 178–205. 2015.

RUTHER, R. – Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: Mudanças climáticas e o impacto das cidades**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 84-94, 2011. Disponível em: <http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/o-potencial-dos-setores-urbanos-brasileiros-para-a-gerao-de-energia-solar.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.

RUVIARO, A.; SPERANDIO, M.; LUCCHESI, F. Análise econômica estratégica para a inserção de sistema fotovoltaico em campus universitário de acordo com as resoluções normativas e os incentivos governamentais vigentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1-10. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/497/497>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SALAMANCA, F. et al. Citywide Impacts of Cool Roof and Rooftop Solar Photovoltaic Deployment on Near-Surface Air Temperature and Cooling Energy Demand. **Boundary-layer Meteorology**, [s.l.], v. 161, n. 1, p.203-221, 21 abr. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10546-016-0160-y>.

SALAMANCA, F. et al. Top-of-atmosphere radiative cooling with white roofs: experimental verification and model-based evaluation. **Environmental Research Letters**, [s.l.], v. 7, n. 4, p.044007-044027, 8 out. 2012. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044007>.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the

urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions.

Solar Energy, [s.l.], v. 85, n. 12, p.3085-3102, dez. 2011. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>.

SATTLER, S.; ZLUWA, I.; ÖSTERREICHER, D. The “PV Rooftop Garden”: providing recreational green roofs and renewable energy as a multifunctional system within one surface area. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1791-1801, 5 mar. 2020. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/app10051791>.

SCHAEDLER, L. (2014). *Simulação Computacional de uma Residência visando a Análise do Consumo Energético*. Horizontina: FAHOR - Faculdade Horizontina.

SCHERBA, A. et al. Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. **Building And Environment**, [s.l.], v. 46, n. 12, p.2542-2551, dez. 2011. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.012>.

SCHNEIDER, K.; SORGATO, M. J.; RÜTHER, R.. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de módulos fotovoltaicos (FV) de telureto de cádmio (CdTe) em fachadas opacas de um edifício comercial de escritórios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10.

Sharma, S., Jain, K. K. & Sharma, A., 2015. Solar Cells: In Research and Applications-A Review. *Materials Sciences and Applications*, Volume 6, pp. 1145-1155.

SILVA, J. L. de S. et al. Análise do avanço da geração distribuída no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

SILVA, M. R. da et al. Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede para uma unidade educacional pública do município de Paulo Afonso - BA.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 9. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 15 maio 2019.

TAHA, H. The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar

photovoltaic arrays in urban areas. **Solar Energy**, [s.l.], v. 91, p.358-367, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.014>.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VUONG, E.; KAMEL, R. S.; FUNG, A. S. Modelling and simulation of BIPV/T in EnergyPlus and TRNSYS. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1883-1888. 2015.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development., 2008. Energy efficiency in buildings; Business realities and opportunities. Switzerland.

ZOMER, C. D et al. Compromissos entre forma e função de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede em baixas latitudes. **Anais...** XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Armação dos Búzios: ANTAC. 2011.

ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. Aplicação e avaliação de método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens>>. Acesso em: 05 abr. 2019.