

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ENGENHARIA DE ENERGIA

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA UTILIZANDO MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A  
UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS 1 E 3**

por

**Carla Reich**

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, novembro de 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA UTILIZANDO MÓDULOS FOTOVOLTAICOS  
INTEGRADOS A UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS  
BRASILEIRAS 1 E 3

por

Carla Reich

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos  
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Jenisch Rodrigues

Banca examinadora:

Prof.Dr. Andrés Armando Mendiburu Zevallos – DEMEC / UFRGS

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mariana Resener – DELAE / UFRGS

Eng.<sup>a</sup> Jakeline Osowski Tomazi – Nexway Eficiência

Porto Alegre, novembro de 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul por me proporcionar um ensino de qualidade.

Aos professores pelos ensinamentos compartilhados.

Aos colegas e amigos que apoiaram e compartilharam saberes no dia a dia.

Aos meus pais, Soeli e Alcides, e aos demais familiares que contribuíram significativamente com suporte, apoio e torcida por cada conquista minha, mesmo que as vezes a distância.

Ao Leonardo Bigolin, meu companheiro, que com muito amor me deu suporte a qualquer hora e de qualquer lugar.

À minha orientadora, Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Letícia Jenisch Rodrigues, pelo compartilhamento de ideias, conhecimento ao longo dessa desafiadora jornada e por conduzir com muita dedicação o seu papel.

Aos meus colegas de trabalho na empresa Yara Brasil, pelo compartilhamento das suas experiências e pela motivação no dia a dia de estudos e trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes nesta conquista.

**REICH, C. Avaliação Energética Utilizando Módulos Fotovoltaicos Integrados a uma Edificação Multifamiliar nas Zonas Bioclimáticas Brasileiras 1 e 3.** 2021. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## **RESUMO**

No Brasil, o setor residencial apresenta uma contribuição significativa no consumo final de eletricidade e essa participação tende a crescer com a taxa de urbanização que é cada vez maior. Sistemas solares fotovoltaicos podem ser aplicados e/ou integrados no edifício e essa tecnologia vem tornando-se uma alternativa promissora para o Brasil devido a radiação solar disponível. Esta monografia apresenta uma avaliação energética de uma edificação multifamiliar com geração de energia solar fotovoltaica aplicada na envoltória. O modelo de edificação multifamiliar foi definido a partir de dados estatísticos referentes as principais características físicas e ocupacionais das edificações residenciais brasileiras. As simulações foram realizadas, utilizando o software EnergyPlus® e SAM, para as zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 3 e diferentes orientações das fachadas. Conforme resultados obtidos, Porto Alegre apresenta uma geração de energia maior a partir da integração de módulos fotovoltaicos no envoltório da edificação, mas também apresenta um gasto energético maior com resfriamento em comparação a cidade de Curitiba devido as altas temperaturas. O sistema fotovoltaico, projetado para suprir a demanda da edificação, é capaz de alimentar a edificação durante um ano, portanto é possível reduzir o consumo de energia da rede elétrica de uma edificação residencial visando a sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar Fotovoltaica, Edificação, EnergyPlus®

REICH, C. **Energetic Evaluation Using Photovoltaic Modules Integrated to a Multifamily Building in the Brazilian Bioclimatic Zones 1 and 3**. 2021. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

#### **ABSTRACT**

In Brazil, the residential sector contributes to final electricity consumption, and its participation tends to grow with the increasing urbanization rate. Photovoltaic solar systems can be applied and/or integrated into a building, and this technology has become a promising alternative for Brazil due to its available solar radiation. This final paper presents a energetic evaluation of a multifamily building with photovoltaic solar energy generation applied to the envelope. The multifamily building model was defined based on statistical data referring to Brazilian residential buildings' main physical and occupational characteristics. The simulations were performed for the Brazilian bioclimatic zones 1 and 3 and different facade orientations using EnergyPlus® and SAM software. According to the results obtained, Porto Alegre presents a more significant energy generation from integrating photovoltaic modules in the building envelope and shows a more substantial energy consumption with cooling than the city of Curitiba due to high temperatures. The photovoltaic system, designed to meet the building's demand, can supply the building for a year, so it is possible to reduce the energy consumption of a residential building's electrical network, aiming at sustainability.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Solar Energy, Building, EnergyPlus®

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1	Zoneamento Bioclimático.....	2
2.1.1	Caracterização Climática das Cidades.....	3
2.2	Energia Solar no Território Brasileiro.....	3
2.2.1	Energia Solar Fotovoltaica.....	4
2.2.2	Energia Solar Fotovoltaica Aplicada em Edificações.....	5
3	METODOLOGIA.....	6
3.1	Caracterização da Edificação de Referência.....	6
3.2	Definição das Cidades a serem Aplicadas na Simulação.....	8
3.3	Arquivo Climático.....	8
3.4	Energia Solar Fotovoltaica.....	8
3.5	Simulação no EnergyPlus.....	10
3.6	Simulação no System Advisor Model – SAM.....	11
4	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	11
4.1	Edificação de Referência.....	12
4.2	Sistema de Condicionamento de Ar.....	13
4.3	Sistema Fotovoltaico.....	14
5	CONCLUSÕES.....	19
6	TRABALHOS FUTUROS.....	19
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
	ANEXOS.....	22
	Anexo A – Características físicas do modelo de edificação.....	22
	Anexo B – Datasheet dos módulos fotovoltaicos utilizados no estudo.....	23
	Anexo C – Datasheet do inversor selecionado para o estudo.....	23
	APÊNDICES.....	24
	Apêndice A – Perfis horários.....	24

## 1 INTRODUÇÃO

As edificações dos setores residencial, comercial e público consumiram 48% da energia elétrica no mundo em 2018 (IEA, 2020). No Brasil, o setor residencial foi responsável por 26,1% do consumo final de eletricidade no ano de 2019 (EPE, 2020). Diante da realidade global, é possível reduzir a demanda de energia elétrica de uma edificação residencial visando a sustentabilidade? Atitude como substituir a energia elétrica convencional pela energia solar pode ser uma solução.

A grande disponibilidade de radiação solar é um fator significativo para o uso da tecnologia fotovoltaica e justifica o enorme potencial da geração solar no Brasil (RÜTHER, 2004). Em um sistema fotovoltaico, os módulos são os componentes que produzem a energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico que ocorre nas células solares. Os módulos fotovoltaicos podem ser aplicados e/ou integrados no edifício. Quando integrados à estrutura do edifício são denominados de *Building-Integrated Photovoltaics* – BIPV, onde os módulos fotovoltaicos substituem ou complementam a estrutura da edificação. Quando aplicados ao edifício são conhecidos como *Building-Applied Photovoltaics* – BAPV. Nesse caso, é comum haver suporte adicional de montagem e são mais utilizados na instalação dos sistemas usuais e em *retrofit* (SANTOS; RÜTHER, 2012).

O desempenho de um sistema BIPV depende principalmente da eficiência do sistema fotovoltaico, do clima local, da orientação e da inclinação do arranjo fotovoltaico (KALOGIROU, 2016). Para auxiliar a análise, existem sistemas de classificação climática que buscam o agrupamento de regiões similares em zonas climáticas. O conceito de zoneamento bioclimático brasileiro, definido pela norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005), foi desenvolvido com base em dados de 330 cidades e divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. As zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 3 são contempladas no desenvolvimento desta monografia.

Em sua pesquisa, LAUFFER, 2019 utilizou o software EnergyPlus® para analisar o desempenho energético de uma edificação residencial com geração de energia solar fotovoltaica aplicada na envoltória para diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, diferentes tecnologias fotovoltaicas e diferentes orientações das fachadas. As simulações foram realizadas para a cidade Porto Alegre-RS e Recife-PE, por terem características de clima e temperatura bastante divergentes. O autor concluiu que para a cidade de Porto Alegre todas as tecnologias apresentaram uma produção suficiente para suprir a demanda da edificação e para a cidade de Recife, apenas a tecnologia de silício amorfo (a-Si) não produziu energia suficiente para suprir a demanda.

Em sua pesquisa, TAVARES, 2006 elaborou cinco modelos de edificações residenciais que fundamentam estudos para projeções de consumo energético e observou que apesar de uma pequena parcela dos domicílios serem edificações multifamiliares, esse percentual vem crescendo com a urbanização do país, enfatizando a importância de estudos relativos às edificações com uso residencial. O modelo da edificação multifamiliar escolhido para o estudo realizado nesta monografia é um dos modelos elaborados por TAVARES, 2006, por ser um estudo já existente e de livre acesso.

Este trabalho tem por objetivo avaliar, através de simulação pelo software EnergyPlus®, desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2016) e o software *System Advisor Model*, SAM, desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2020), o desempenho energético de uma edificação multifamiliar com geração de energia solar fotovoltaica aplicada no envoltório e comparar o seu desempenho nas zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 3, para diferentes orientações das fachadas, e analisar a possibilidade dessa geração suprir a demanda do modelo proposto.

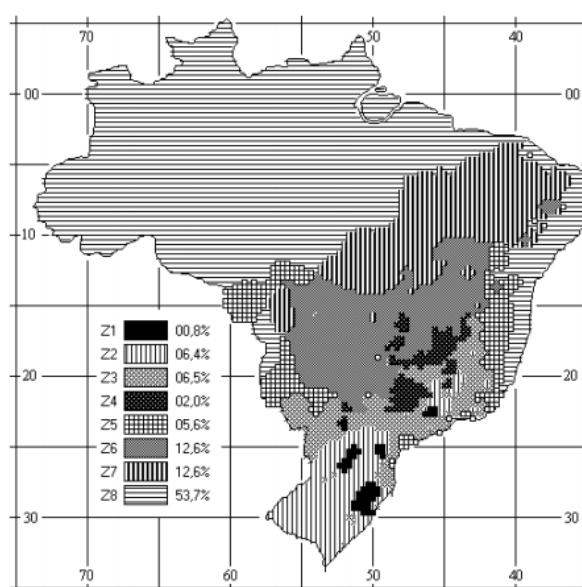
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentadas definições de conceitos-chave sobre os principais assuntos relacionados ao tema do trabalho.

### 2.1 Zoneamento Bioclimático

A divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima foi resultante da análise de dados climáticos obtidos entre 1931 a 1990. Esses dados foram classificados por meio da Carta Bioclimática de GIVONI, 1992, adaptada ao Brasil. A ABNT NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, onde formulou-se, para cada uma dessas zonas, um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações. As diferentes zonas bioclimáticas estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005)

A carta bioclimática adotada para o Brasil está apresentada na Figura 2. A região em branco representa a zona de conforto para as pessoas em um ambiente. A sensação de conforto térmico pode ser obtida para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura entre 18 e 29°C.

Figura 2 – Carta Bioclimática adotada no Brasil.



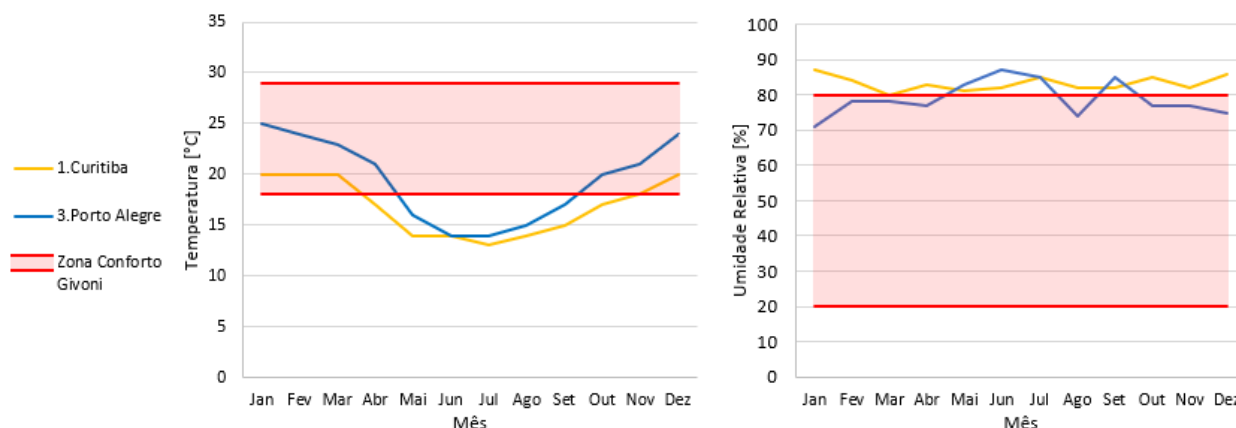
Fonte: (LAMBERTS, 2014)



### 2.1.1 Caracterização Climática das Cidades

A Figura 3 ilustra o comportamento da temperatura e umidade relativa média mensal para as cidades a serem aplicadas na simulação, juntamente com a zona de conforto definida por GIVONI, 1992. Temperaturas e umidades relativas fora da zona de conforto são consideradas situações de desconforto, exigindo medidas para compensar a sensação térmica.

Figura 3 – Temperatura e umidade relativa média mensal ao longo de um ano.

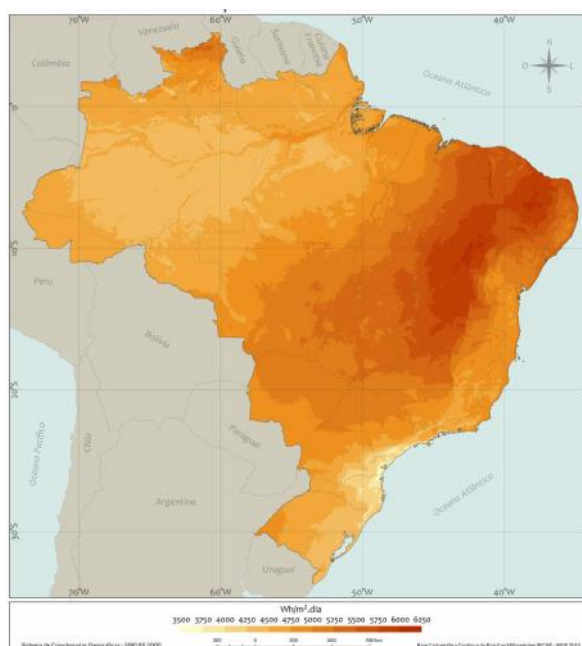


Fonte: Elaborado pela autora.

## 2.2 Energia Solar no Território Brasileiro

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o território brasileiro recebe elevados índices de irradiação solar ao longo do ano. Os valores diários médios de irradiação solar no plano horizontal em regiões do território brasileiro estão entre 3,50 e 6,25 kWh/m<sup>2</sup>, valores superiores a países como, por exemplo, a Alemanha, que possui grande incentivo governamental para aproveitamento de recursos solares (PEREIRRA et al., 2017). A Figura 4 apresenta a irradiação solar global horizontal média anual no Brasil.

Figura 4 – Total diário da irradiação global horizontal média anual no Brasil.



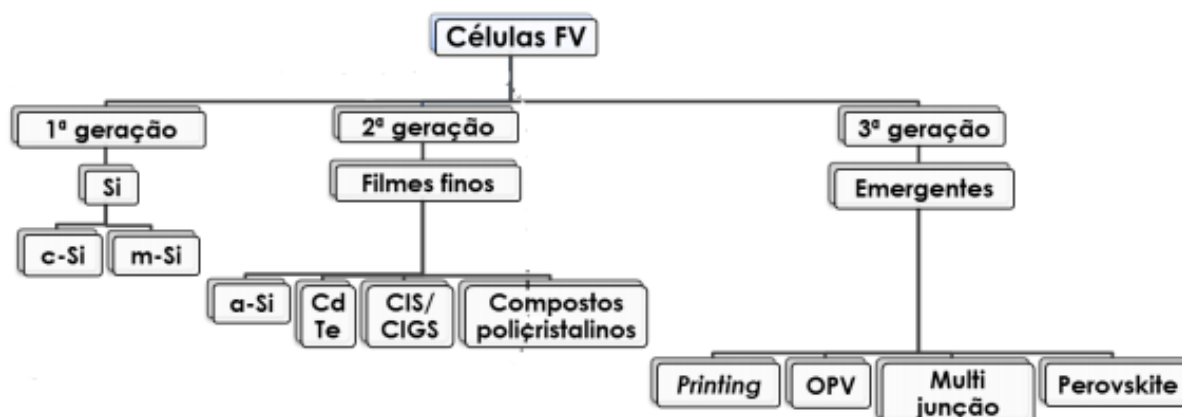
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRRA et al., 2017)

## 2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é definida por PINHO; GALDINO, 2014 como sendo a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico que ocorre nas células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor. Segundo PINHO; GALDINO, 2014, um módulo fotovoltaico é “uma unidade básica, formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica (...)”.

As principais tecnologias aplicadas na produção de células fotovoltaicas são agrupadas em três gerações, conforme apresentado na Figura 5.

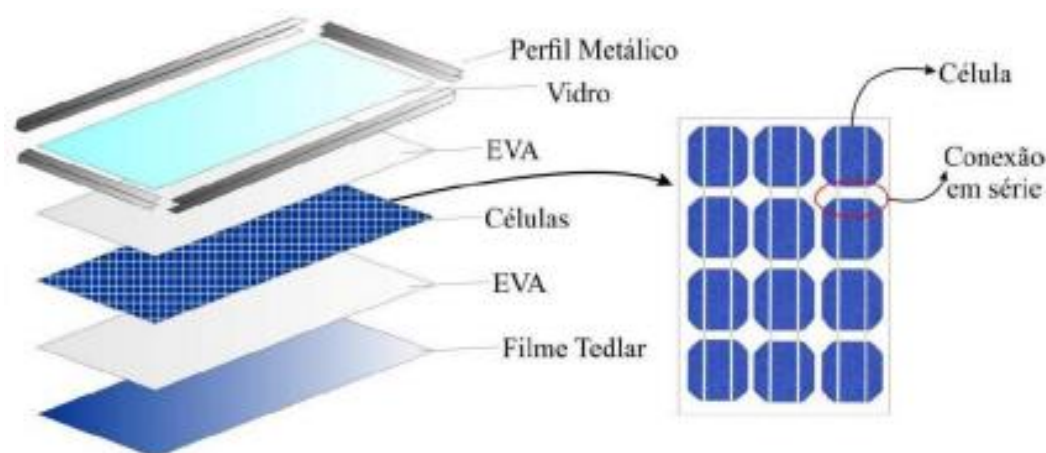
Figura 5 – Tecnologias fotovoltaicas.



Fonte: Adaptado de (NAKANO, 2017)

A tecnologia conhecida como primeira geração é constituída de silício cristalino que pode ser monocristalino (c-Si) e policristalino ou multicristalino (m-Si). Essa tecnologia é considerada consolidada no mercado e o c-Si apresenta as maiores eficiências entre as diversas tecnologias disponíveis no mercado. A segunda geração é composta pelas células de filmes finos, representadas pelo silício amorfo (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS). A última geração é composta pelas tecnologias mais recentes denominadas emergentes. A estrutura de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura de um módulo fotovoltaico de silício cristalino (c-Si).



Fonte: (MACHADO; MIRANDA, 2015)

## 2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica Aplicada em Edificações

Na Figura 7 é apresentado o modelo de um edifício contendo o sistema BIPV, com módulos fotovoltaicos nas fachadas e cobertura (LAUFFER, 2019).

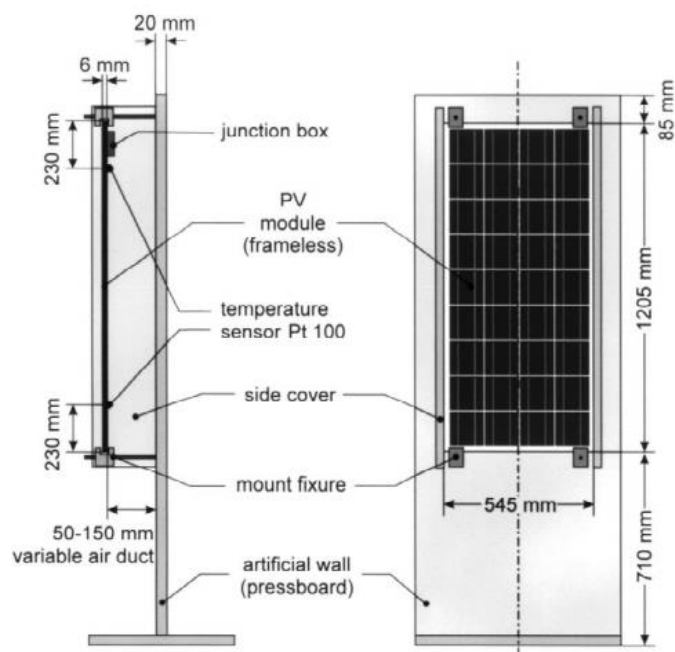
Figura 7 – Edificação residencial com BIPV.



Fonte: (LAUFFER, 2019)

Os sistemas BIPV podem ser classificados em classes, e cada classe é dividida em vários tipos de acordo com a integração dos módulos fotovoltaicos nas fachadas das edificações. A aplicação de módulos fotovoltaicos aplicados a fachadas de edificações com ventilação é um modelo amplamente utilizado, estudado e é abordado no desenvolvimento desta monografia. Conforme mostrado na Figura 8, existe um espaço de ventilação entre o módulo fotovoltaico e a parede, através do qual o ar flui de baixo para cima. A ventilação ativa em fachadas com ventilação permite uma redução de temperatura de operação das células fotovoltaicas, o que resulta em um aumento na produção de energia elétrica (KRAUTER et al., 1999). A camada de ar pode ser ventilada mecanicamente ou naturalmente.

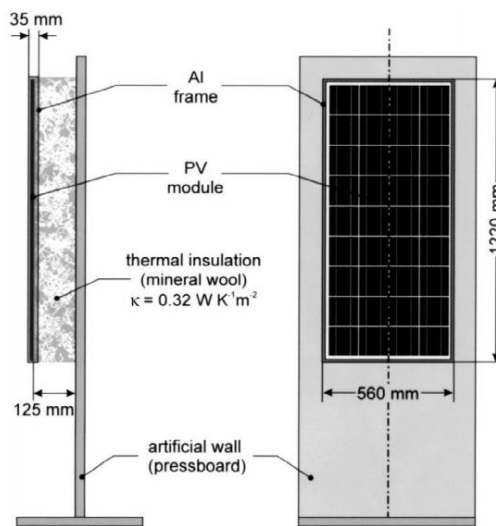
Figura 8 – Vista lateral e frontal de um módulo fotovoltaico aplicado a fachada de edificações com ventilação.



Fonte: (KRAUTER et al., 1999)

A Figura 9 apresenta um módulo fotovoltaico aplicado a fachada de edificação sem ventilação. Pode-se observar que o isolamento térmico foi fixado diretamente na parte de trás do módulo fotovoltaico.

Figura 9 – Vista lateral e frontal de um módulo fotovoltaico aplicado a fachada de edificações sem ventilação.



Fonte: (KRAUTER et al., 1999)

KRAUTER et al., 1999 e CHOW et al., 2003 comparam módulos fotovoltaicos aplicados a fachadas de edificações com ventilação e sem ventilação. Eles concluíram que a temperatura dos módulos fotovoltaicos aplicados a fachadas de edificações sem ventilação era maior do que aquela com ventilação, o que torna a primeira eficiência mais baixa. Em suas pesquisas, (SANJUAN et al., 2011), constataram que os módulos fotovoltaicos aplicados a fachadas de edificações sem ventilação foram benéficos para reduzir a carga de aquecimento no inverno.

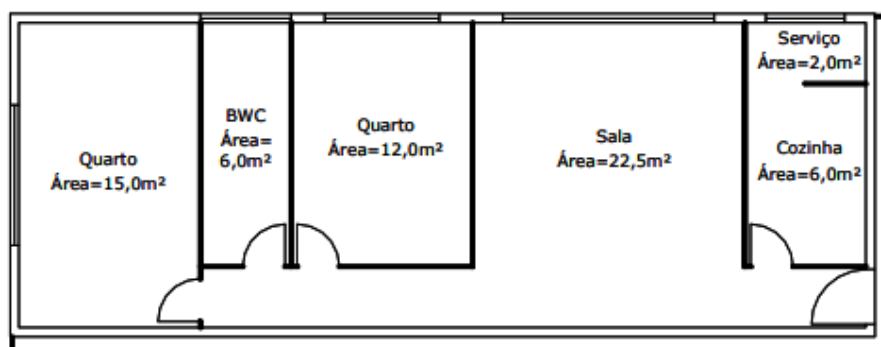
### 3 METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos para alcançar os objetivos propostos.

#### 3.1 Caracterização da Edificação de Referência

O modelo da edificação utilizado nesta monografia foi obtido de TAVARES, 2006, por ser um estudo já existente e de livre acesso. Trata-se de uma edificação multifamiliar e baixa renda. O projeto inclui dois dormitórios, cozinha, sala de estar, um banheiro e área de serviço. A planta baixa do modelo está apresentada na Figura 10.

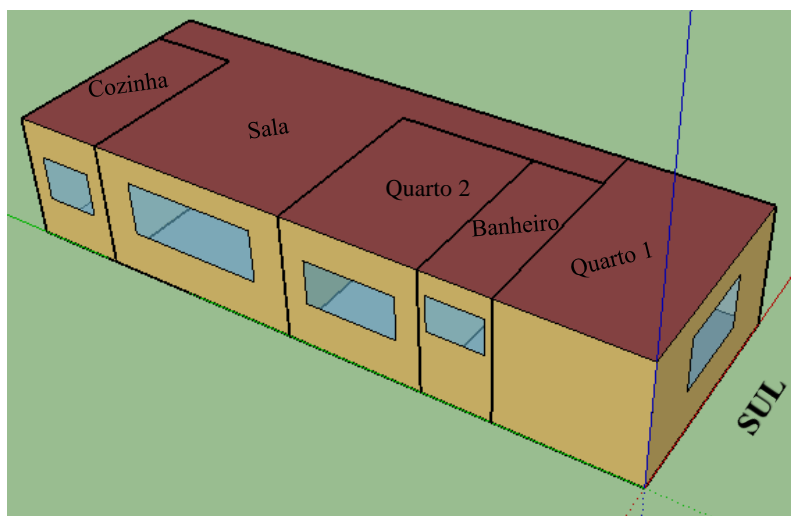
Figura 10 – Planta baixa do modelo de edificação multifamiliar.



Fonte: (TAVARES, 2006)

A Figura 11 apresenta o apartamento do modelo com indicação dos ambientes.

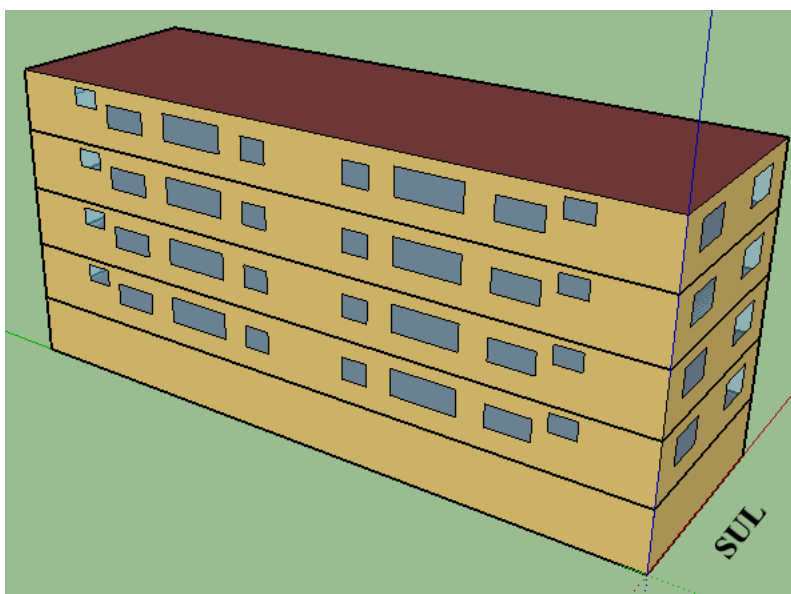
Figura 11 – Apartamento do modelo da edificação.



Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo da edificação é composto por 4 pavimentos e 16 apartamentos de 70 m<sup>2</sup> cada, conforme ilustrado na Figura 12.

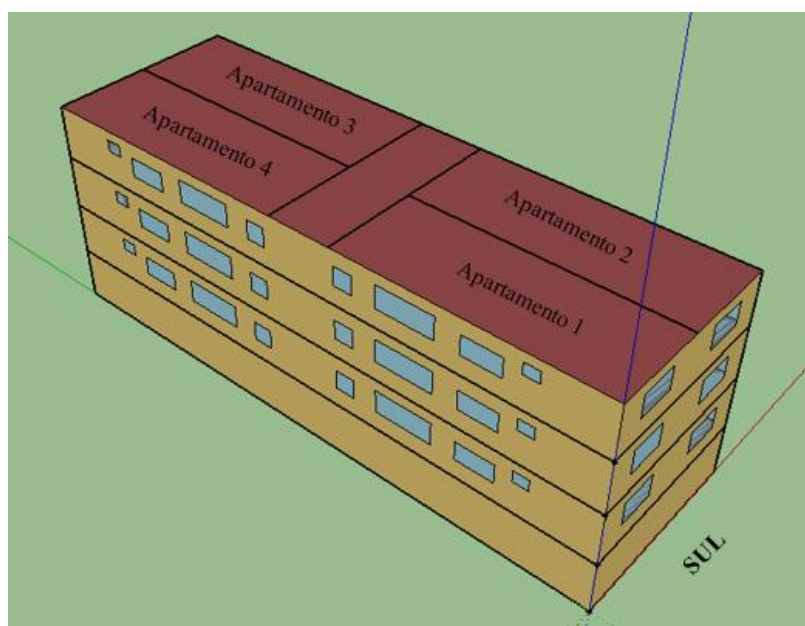
Figura 12 – Modelo da edificação.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 13 apresenta a distribuição dos apartamentos no pavimento escolhido para as análises energética.

Figura 13 – Vista superior da distribuição dos apartamentos do modelo.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2 Definição das Cidades a serem Aplicadas na Simulação

Para atingir o objetivo de avaliar o desempenho energético de uma edificação multifamiliar com geração de energia solar fotovoltaica aplicada no envoltório, foi realizada a simulação para uma cidade da zona bioclimática brasileira 1 e 3, conforme Tabela 1. A escolha dessas localidades se justifica por serem cidades com características de clima e temperatura divergentes.

Tabela 1 – Cidades a serem aplicadas na simulação.

Zona Bioclimática	Cidade	UF
1	Curitiba	PR
3	Porto Alegre	RS

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3 Arquivo Climático

Os arquivos climáticos contêm dados horários medidos em estações meteorológicas. Os principais tipos utilizados pelos programas de simulação são os seguintes: TRY – *Test Reference Year*, TMY – *Typical Meteorological Year*, SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment* e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. A base de dados do INMET conta com 411 arquivos climáticos de municípios brasileiros e os dados são medidos nas estações automáticas do INMET, com extensão EPW (*EnergyPlus Weather*). O formato EPW contém todos os dados meteorológicos necessários para a simulação energética no software utilizado nesta monografia.

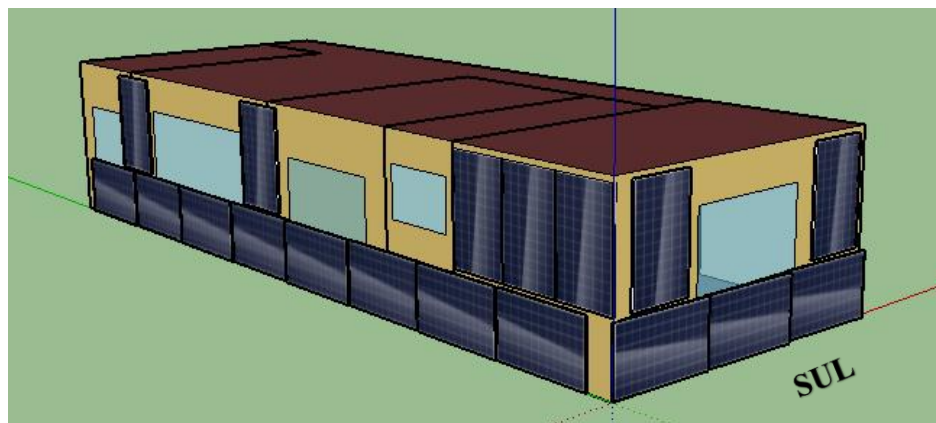
### 3.4 Energia Solar Fotovoltaica

Para o presente estudo, foram selecionados módulos *Canadian Solar*, modelo CS6K-275 (NEOSOLAR, 2021) e o inversor M030 L1, da fabricante WEG (WEG, 2021), cuja especificações se encontram no Anexo B e Anexo C, respectivamente.

Nas fachadas do apartamento os módulos são instalados conforme a orientação da superfície e com inclinação de 90° em relação ao plano horizontal. Para análise do potencial de geração das fachadas, calculou-se a área do módulo e foi assumido o máximo de módulos instalados na fachada de cada

apartamento, conforme Figura 14. A Tabela 2 apresenta a área instalada pelos módulos fotovoltaicos na fachada para esse sistema.

Figura 14 – Modelo da edificação com os módulos integrados a fachada visando o potencial de geração da edificação.



Fonte: Elaborado pela autora.

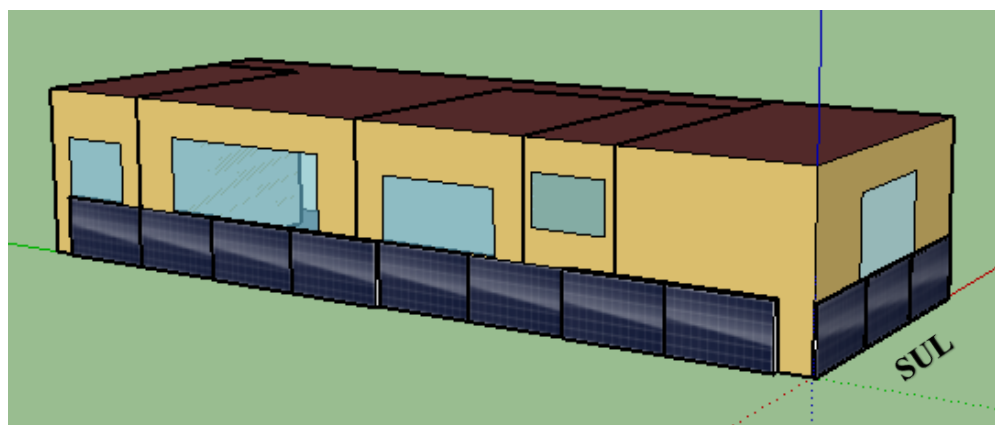
Tabela 2 – Instalação dos módulos fotovoltaicos nas fachadas visando o potencial de geração da edificação.

Apartamento	Número de módulos fotovoltaicos	Inclinação dos módulos (°)	Orientação	Área Superfície [m <sup>2</sup> ]	Área Instalada [m <sup>2</sup> ]
1	5	90	Sul	14,00	8,18
	13	90	Oeste	39,20	21,28
2	5	90	Sul	14,00	8,18
	13	90	Leste	39,20	21,28
3	5	90	Norte	14,00	8,18
	13	90	Leste	39,20	21,28
4	5	90	Norte	14,00	8,18
	13	90	Oeste	39,20	21,28

Fonte: Elaborado pela autora.

A solução BIPV além de gerar energia a partir de fonte solar também proporciona um preenchimento estético. A Figura 15 apresenta a disposição dos módulos fotovoltaicos visando a geração de energia e a estética da edificação.

Figura 15 – Modelo da edificação com os módulos integrados a fachada visando a estética da edificação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o sistema acima, que visa geração de energia e a estética da edificação, o número de módulos por orientação da fachada foi reduzido e conseqüentemente a área instalada também. Essa configuração é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Instalação dos módulos fotovoltaicos nas fachadas dos apartamentos visando a estética da fachada.

<b>Apartamento</b>	<b>Número de módulos fotovoltaicos</b>	<b>Inclinação dos módulos (°)</b>	<b>Orientação</b>	<b>Área Superfície [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Área Instalada [m<sup>2</sup>]</b>
1	3	90	Sul	14,00	4,91
	8	90	Oeste	39,20	13,09
2	3	90	Sul	14,00	4,91
	8	90	Leste	39,20	13,09
3	3	90	Norte	14,00	4,91
	8	90	Leste	39,20	13,09
4	3	90	Norte	14,00	4,91
	8	90	Oeste	39,20	13,09

Fonte: Elaborado pela autora.

Para os dois sistemas de disposição dos módulos fotovoltaicos na fachada da edificação foram estudados três casos de orientação das fachadas para geração de energia, sendo:

- Caso 1 – Todas as direções
- Caso 2 – Fachadas Norte
- Caso 3 – Fachadas Leste - Oeste

Para o consumo de energia de cada apartamento da edificação foi considerado 160 kWh/mês de energia elétrica e 240 kWh/mês de energia para cocção, tendo como base as informações do modelo de edificação selecionado e obtido de TAVARES, 2006. É importante ressaltar que apenas o consumo elétrico é impactado pela instalação dos módulos fotovoltaicos na fachada da edificação.

Os equipamentos internos foram configurados de acordo com o perfil horário de ocupação do apartamento, que pode ser observado no Apêndice A, Tabela A.1, Tabela A.2 e Tabela A.3. A potência de iluminação utilizada em cada cômodo pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4 – Potência de iluminação e dos equipamentos elétricos por zona térmica.

<b>Zona Térmica</b>	<b>Potência Iluminação (W)</b>	<b>Potência Equipamentos (W)</b>
Sala	30	167
Cozinha	30	416
Banheiro	15	2500
Quarto 1	15	71,25
Quarto 2	15	71,25

Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema de condicionamento de ar utiliza aparelhos de ar-condicionado de janela de uso residencial, modelado como uma bomba de calor. Os sistemas são aplicados na sala e nos quartos. O controle da temperatura interna da zona térmica é realizado pelo termostato, ou seja, o sistema de resfriamento será desligado quando a temperatura da zona térmica chegar a 25 °C e o sistema de aquecimento será desligado quando a temperatura da zona térmica chegar a 20 °C.

### 3.5 Simulação no EnergyPlus®

O *software* utilizado para realizar as simulações e avaliar o desempenho energético da edificação é o EnergyPlus®. Esse software foi selecionado por possibilitar a simulação e avaliação térmica de edificações inclusive com sistemas solares, tanto térmico como fotovoltaico. Também possibilita avaliar a



influência das diferentes zonas bioclimáticas brasileiras de acordo com as cidades selecionadas através dos arquivos climáticos.

Para a elaboração do arquivo da simulação foram utilizadas as características físicas do modelo de edificação selecionado conforme detalhadas no Anexo A. As propriedades térmicas dos materiais usados para a simulação estão apresentadas na Tabela 5. O andar escolhido para análise energética não inclui o último andar da edificação, pois o teto está exposto à radiação solar. Sendo assim, as superfícies do piso, teto e as paredes externas (voltadas para o interior da edificação) para o andar analisado possui condição de contorno adiabática.

Tabela 5 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados no modelo de simulação.

Superfície	Material	Espessura [cm]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Massa Específica [kg/m³]	Calor Específico [J/kg.K]	Resistência Térmica [m²K/W]	Absortância
Parede Externa	Reboco Branco	2,50	1,15	2000	1000	-	0,20
	Bloco de Concreto	24,00	1,75	2400	1000	-	-
	Argamassa reboco	2,50	1,15	2000	1000	-	-
Parede Interna	Argamassa reboco	2,50	1,15	2000	1000	-	-
	Bloco de Concreto	14,00	1,75	2400	1000	-	-
	Argamassa reboco	2,50	1,15	2000	1000	-	-
Teto interior	Laje de concreto	12,00	0,52	1500	1000	-	-
	Espaço de ar	-	-	-	-	0,180	-
	Gesso	1,50	0,50	1200	840	-	-
Piso interno (banheiro e cozinha)	Cerâmica comum	2,50	0,90	1450	920	-	-
	Laje de concreto	12,00	0,52	1500	840	-	-
Piso interno (demais cômodos)	Carpete	0,50	0,04	125	-	0,125	-
	Laje de concreto	12,00	0,52	1500	840	-	-
Janela	Vidro transparente	0,30	1,00	2500	840	-	-

Fonte: Adaptado de (LAUFFER, 2019).

### 3.6 Simulação no *System Advisor Model* - SAM

A energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos de silício policristalino foi determinada através de simulação no software *System Advisor Model*, SAM, desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2020). Esse software simula a geração de energia em um sistema fotovoltaico através dos dados ambientais da região, obtidos através de um arquivo com dados climáticos e os parâmetros elétricos e técnicos disponibilizados nos catálogos dos fornecedores. Os parâmetros inseridos no SAM para o sistema solar fotovoltaico são os apresentados na Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros técnicos e elétricos dos módulos e do inversor escolhidos.

Módulo - Canadian Solar CS6K	STC	Inversor - WEG M030 L1	
Potência máxima - Pmp (W)	275,00	Eficiência máxima (%) 98,3	
Tensão de circuito aberto - Voc (V)	38,00	Dados de Entrada (DC)	
Corrente de curto circuito - Isc (A)	9,45	Tensão máxima (V)	600
Tensão de máxima potência - Vmp (V)	31,00	Faixa de operação do MPPT (V)	80 - 600
Corrente de máxima potência - Imp (A)	8,88	Tensão de partida (V)	100
Eficiência (%)	16,80	Faixa de tensão MPPT em máxima potência (V)	90 - 560
Número de células	60,00	Corrente máxima/MPPT (A)	12,5
Comprimento (m)	1,65	Corrente de curto-circuito máxima (A)	18
Largura (m)	0,99	Número de MPPTs	2
Área (m²)	1,64	Dados de Saída (AC)	
		Conexão à rede	monofásica
		Potência nominal (W)	3.000
		Potência aparente máxima (VA)	3.300
		Tensão nominal (V)	220
		Corrente máxima (A)	15

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da metodologia apresentada na Seção 3, foram obtidos resultados decorrentes das simulações computacionais realizadas.

#### 4.1 Edificação de Referência

A simulação realizada para a edificação multifamiliar foi feita para um ano típico – também chamado de Ano Climático de Referência – para a cidade de Porto Alegre-RS e Curitiba-PR. Inicialmente, simulou-se as temperaturas nos ambientes da edificação, a fim de verificar o enquadramento das temperaturas na faixa de conforto térmico, definida no estudo de MARRAMON, 2020. A Tabela 6 apresenta o total de horas de um ano para determinados intervalos de temperatura para as zonas térmicas de cada apartamento.

Tabela 6 – Horas por ano fora do intervalo de temperatura de conforto para a edificação inicial.

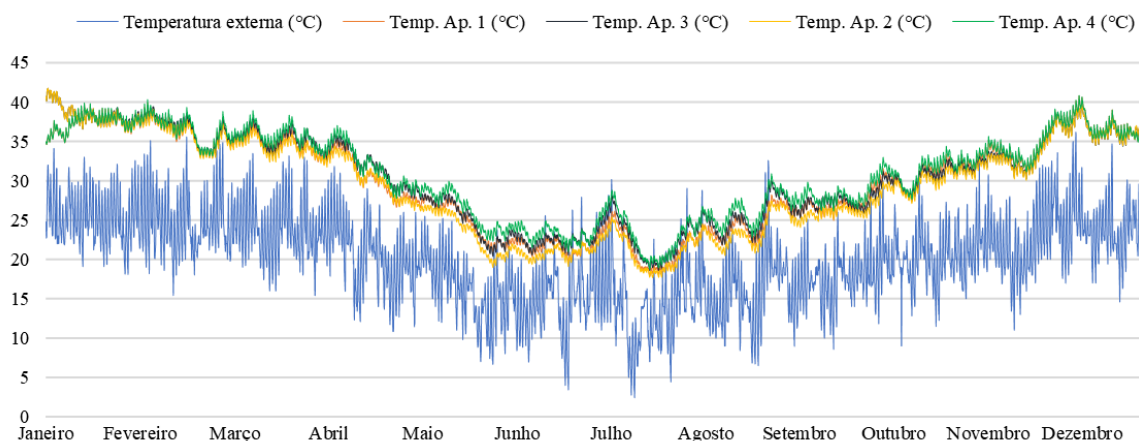
Zona Bioclimática	Cidade /UF	Apartamento	Orientação	Zona Térmica	< 17°C (horas)	< 20°C (horas)	> 25°C (horas)	> 28°C (horas)
1	Curitiba /PR	1	Sul	Quarto 1	94	1037	4507	2453
			Oeste	Banheiro	4	293	5548	3761
			Oeste	Quarto 2	0	283	5589	3793
			Oeste	Sala	0	154	5855	3956
			Oeste	Cozinha	0	108	6154	4164
		2	Sul	Quarto 1	142	1331	4350	2436
			Leste	Banheiro	41	476	5192	3613
			Leste	Quarto 2	21	509	5155	3602
			Leste	Sala	0	367	5395	3756
			Leste	Cozinha	0	195	5761	3940
		3	Norte	Quarto 1	76	187	6085	3433
			Leste	Banheiro	0	119	5970	3888
			Leste	Quarto 2	0	227	5513	3717
			Leste	Sala	0	140	5757	3869
			Leste	Cozinha	0	93	6038	4040
		4	Norte	Quarto 1	71	159	6330	3614
			Oeste	Banheiro	0	116	6571	4284
			Oeste	Quarto 2	0	129	6097	4016
			Oeste	Sala	0	110	6325	4122
			Oeste	Cozinha	0	77	6499	4317
3	Porto Alegre/RS	1	Sul	Quarto 1	93	811	5758	4498
			Oeste	Banheiro	0	309	6555	5060
			Oeste	Quarto 2	0	296	6543	5137
			Oeste	Sala	0	261	6586	5242
			Oeste	Cozinha	0	206	6749	5437
		2	Sul	Quarto 1	136	1109	5507	4419
			Leste	Banheiro	0	467	6287	4949
			Leste	Quarto 2	0	475	6266	4927
			Leste	Sala	0	340	6311	4996
			Leste	Cozinha	0	256	6491	5166
		3	Norte	Quarto 1	0	144	7233	5783
			Leste	Banheiro	0	158	6953	5583
			Leste	Quarto 2	0	270	6501	5219
			Leste	Sala	0	206	6538	5276
			Leste	Cozinha	0	137	6670	5380
		4	Norte	Quarto 1	0	126	7414	5995
			Oeste	Banheiro	0	132	7161	5941
			Oeste	Quarto 2	0	209	6860	5657
			Oeste	Sala	0	147	6890	5796
			Oeste	Cozinha	0	79	7007	5825

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme apresentado no estudo de MARRAMON, 2020, considera-se os intervalos de temperatura abaixo de 17 °C e abaixo de 20 °C como intervalos de desconforto térmico para o frio e os intervalos de temperatura acima de 25 °C e acima de 28 °C como intervalos de desconforto térmico para o calor.

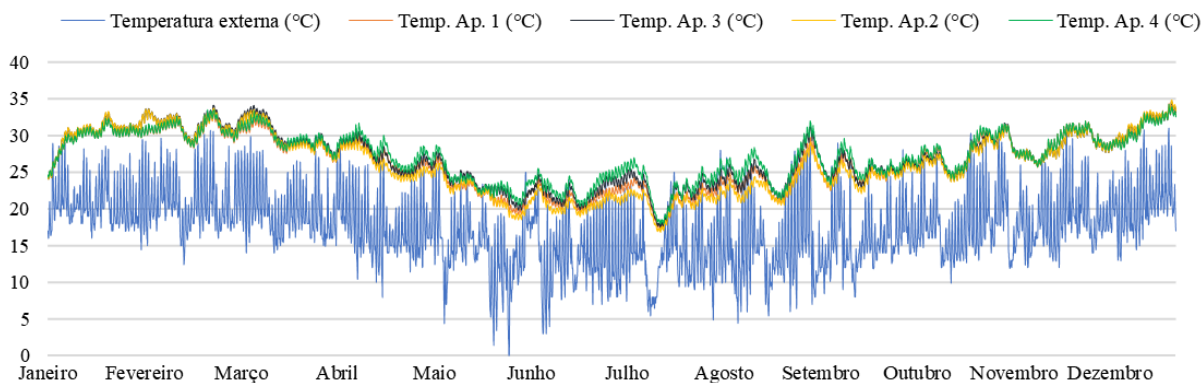
A Figura 16 e a Figura 17 apresentam o comportamento da temperatura operativa de cada apartamento da edificação ao longo do ano comparado com a temperatura externa para Porto Alegre e Curitiba, respectivamente. Pode-se observar que o apartamento 3 e o apartamento 4 apresentam temperaturas superiores aos outros apartamentos, pois uma das fachadas possui orientação norte.

Figura 16 – Comportamento da temperatura ao longo de um ano para a edificação inicial em Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 – Comportamento da temperatura ao longo de um ano para a edificação inicial em Curitiba.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.2 Sistema de Condicionamento de Ar

Posteriormente, simulou-se a edificação considerando a aplicação de sistema de condicionamento de ar. A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam o uso final da energia anual para cada apartamento para Porto Alegre e Curitiba, respectivamente.

Tabela 7 – Usos finais da energia para Porto Alegre.

<i>End Use</i>	<i>Uso final</i>	<b>Ap. 1</b>	<b>Ap. 2</b>	<b>Ap. 3</b>	<b>Ap. 4</b>
		<b>Eletricidade [kWh]</b>			
<i>Heating</i>	Aquecimento	111,22	128,00	41,90	34,98
<i>Cooling</i>	Resfriamento	939,29	912,11	1.048,93	1.087,39
<i>Interior Lighting</i>	Iluminação Interna	103,99	103,99	103,99	103,99
<i>Interior Equipment</i>	Equipamentos Internos	1.806,75	1.806,75	1.806,75	1.806,75
<i>Fans</i>	Ventiladores	25,86	25,98	25,90	25,78
<b>Total</b>		<b>2.987,11</b>	<b>2.976,83</b>	<b>3.027,47</b>	<b>3.058,89</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 – Usos finais da energia para Curitiba.

<i>End Use</i>	<i>Uso final</i>	<b>Ap. 1</b>	<b>Ap. 2</b>	<b>Ap. 3</b>	<b>Ap. 4</b>
		<b>Eletricidade [kWh]</b>			
<i>Heating</i>	Aquecimento	138,50	156,46	55,30	48,66
<i>Cooling</i>	Resfriamento	413,01	419,74	502,31	513,81
<i>Interior Lighting</i>	Iluminação Interna	103,99	103,99	103,99	103,99
<i>Interior Equipment</i>	Equipamentos Internos	1.806,75	1.806,75	1.806,75	1.806,75
<i>Fans</i>	Ventiladores	28,25	28,12	28,25	28,37
<b>Total</b>		<b>2.490,50</b>	<b>2.515,06</b>	<b>2.496,60</b>	<b>2.501,58</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Verifica-se que para Porto Alegre há um gasto energético maior com resfriamento para todos os apartamentos em comparação a cidade de Curitiba, devido às altas temperaturas, resultando na necessidade de maior uso de equipamentos de condicionamento de ar para refrigeração para manter as mesmas condições de temperatura no interior da edificação em relação a Curitiba. Para Curitiba há um gasto energético maior com aquecimento, que é resultado das baixas temperaturas na cidade, conforme apresentado na Figura 3.

### 4.3 Sistema Fotovoltaico

Conforme apresentado no Item 3.4, para os dois sistemas de disposição dos módulos fotovoltaicos na fachada da edificação foram estudados três casos de orientação das fachadas para geração de energia. A Figura 18 e a Figura 19 apresentam o resultado da simulação onde foi analisado o potencial de geração de energia mensal a partir da instalação dos módulos fotovoltaicos em todas as fachadas da edificação para Porto Alegre e Curitiba, respectivamente.

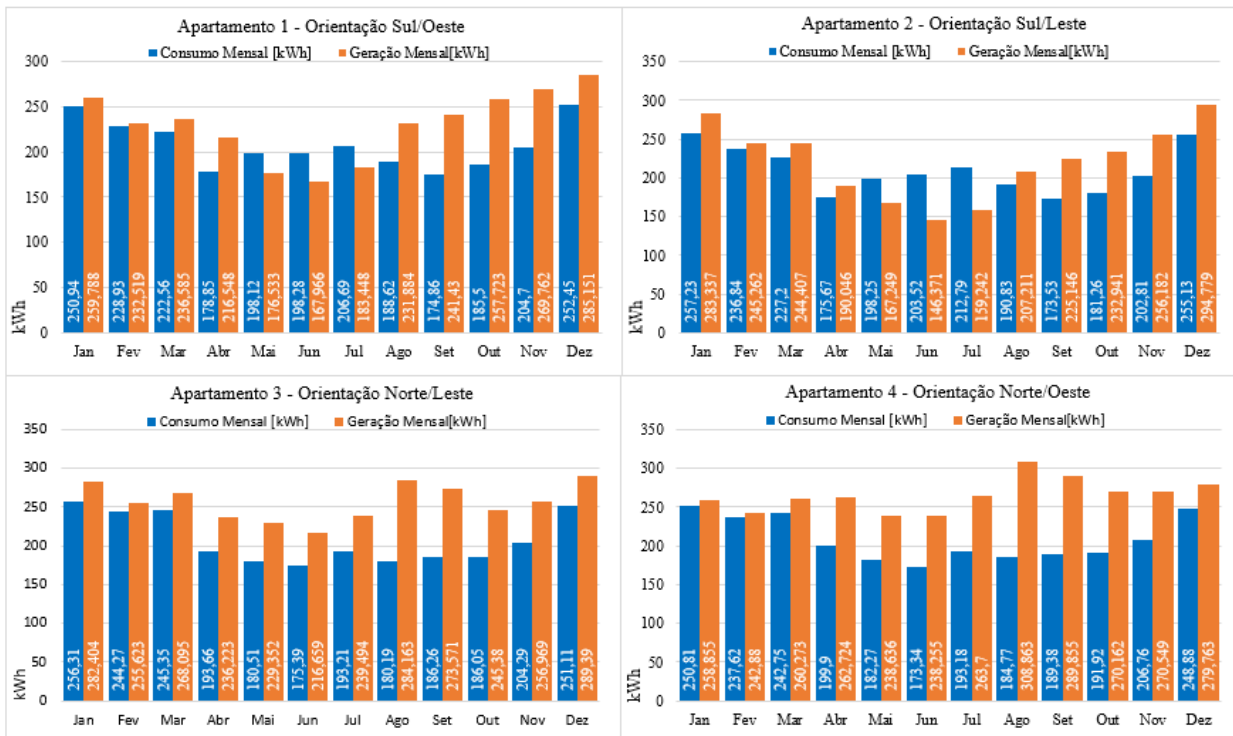
Pode-se observar que a instalação de módulos fotovoltaicos nas fachadas do apartamento 4, que está na orientação geográfica norte/oeste, apresentou a maior geração de energia para ambas as cidades, suprimindo a demanda do apartamento. Outro ponto importante é que os apartamentos que possuem uma fachada voltada para o norte (apartamento 3 e 4) a geração de energia foi superior em comparação aos apartamentos 1 e 2. Isso se justifica, pois no Sul do Brasil a melhor direção dos módulos fotovoltaicos é a voltada para o norte geográfico. Portanto, a direção do módulo tem grande importância na captação de energia.

Figura 18 – Consumo e geração mensal de energia por apartamento em Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 – Consumo e geração mensal de energia por apartamento em Curitiba.

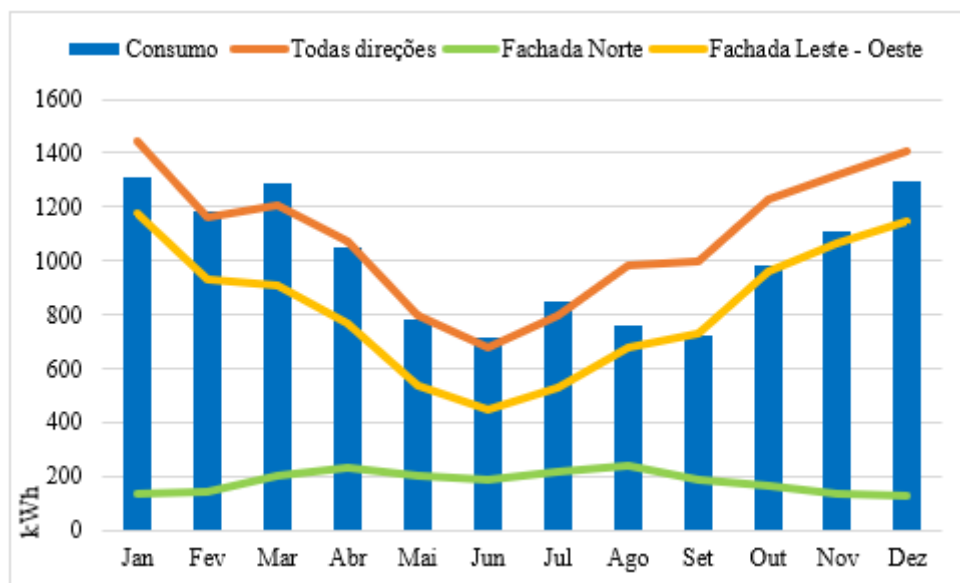


Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar na Figura 20 e na Figura 21 que a geração de energia para a edificação estudada foi superior considerando a instalação dos módulos fotovoltaicos em todas as fachadas, ou seja, todas direções para ambas as cidades. Vale ressaltar que a fachada norte apresentou uma geração de energia inferior aos outros casos estudados, pois possui menos módulos fotovoltaicos instalados em comparação as fachadas leste e oeste, conforme apresentado na Tabela 2.

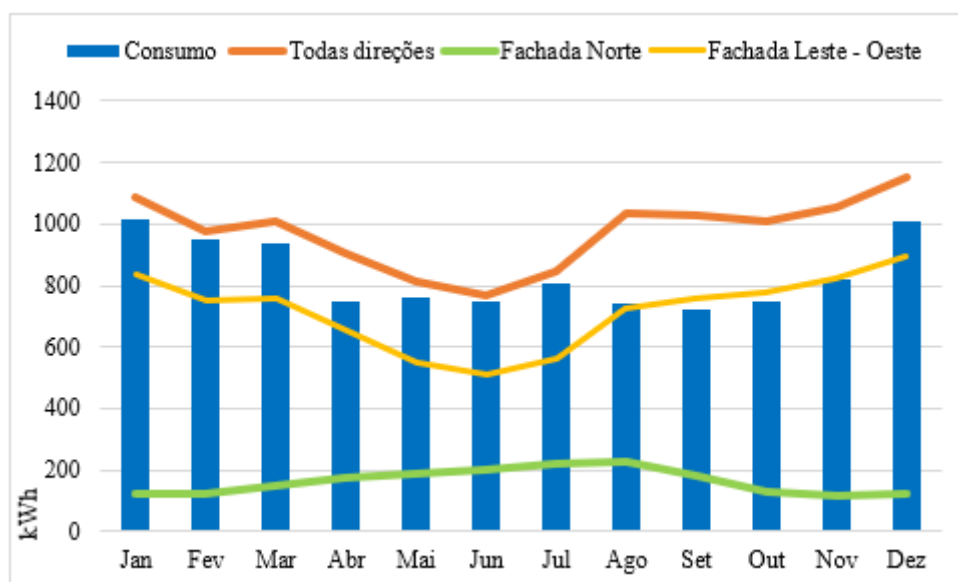
É importante observar que na geração de energia na fachada norte há um bom aproveitamento no período de inverno, entre os meses de março a setembro, para as demais direções é invertida a maior geração, ou seja, o melhor desempenho é no verão.

Figura 20 – Potencial de geração de energia mensal para os três casos estudados em Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 – Potencial de geração de energia mensal para os três casos estudados em Curitiba.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 9 apresenta o resumo do consumo e geração anual de energia de um pavimento da edificação para os três casos estudados para as cidades de Porto Alegre e Curitiba. Observa-se que o caso 1, onde há módulos fotovoltaicos instalados em todas as direções das fachadas, supriu o consumo anual

do pavimento da edificação para Porto Alegre e Curitiba. Porto Alegre, apesar de apresentar uma geração de energia maior, também apresenta um consumo maior.

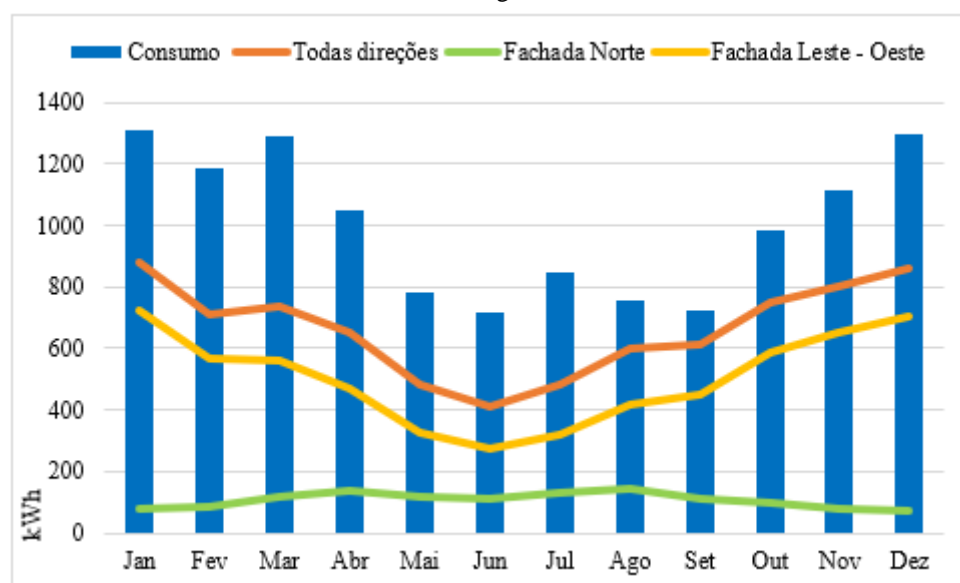
Tabela 9 – Resumo do consumo e potencial de geração anual de energia para os casos estudados.

Caso	Fachada	Cidade/UF	Consumo Anual [kWh]	Geração Anual [kWh]	Energia Solar Fotovoltaica [%]
1	Todas Direções	Porto Alegre/RS	12.050,30	13.091,04	108,64
		Curitiba/PR	10.003,74	11.673,35	116,69
2	Norte	Porto Alegre/RS	12.050,30	2.161,27	17,94
		Curitiba/PR	10.003,74	1.953,72	19,53
3	Leste - Oeste	Porto Alegre/RS	12.050,30	9.866,96	81,88
		Curitiba/PR	10.003,74	8.598,29	85,95

Fonte: Elaborado pela autora.

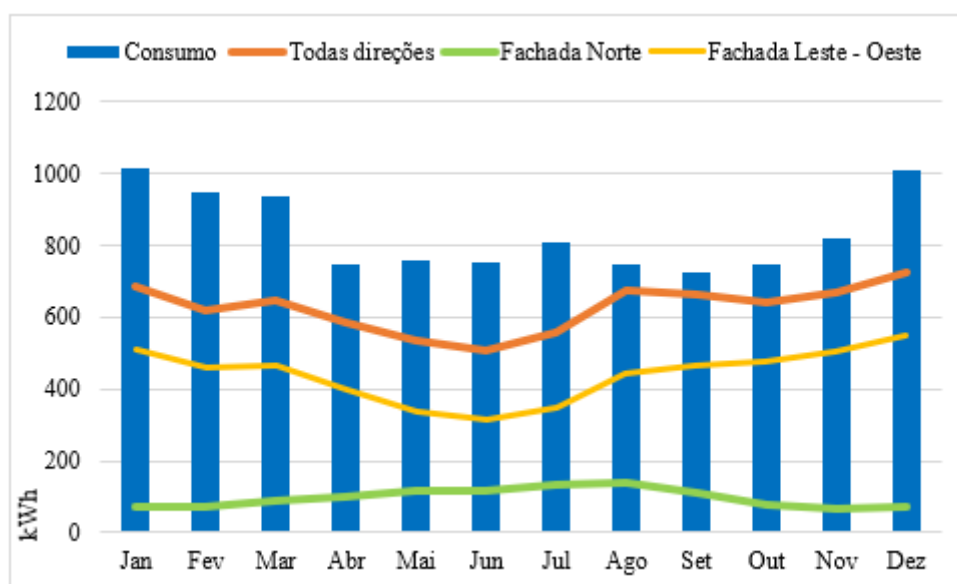
Para o sistema de disposição dos módulos fotovoltaicos visando a geração de energia e a estética da edificação a geração foi inferior ao sistema que visa somente o potencial de geração da edificação, pois nesse modelo há menos módulos integrados no envoltório. O caso que apresenta módulos em todas as direções da fachada apresentou melhor desempenho para ambas as cidades, conforme apresentado na Figura 22 e Figura 23.

Figura 22 – Geração de energia mensal visando a estética da edificação para os três casos estudados em Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 – Geração de energia mensal visando a estética da edificação para os três casos estudados em Curitiba.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 10 apresenta o resumo do consumo e geração anual de energia visando a estética da edificação. Os módulos fotovoltaicos integrados em todas as direções das fachadas produziram 66% da energia anual do pavimento analisado em Porto Alegre e 75% em Curitiba, valor superior devido ao consumo anual menor. A fachada norte contribui com aproximadamente 11% para ambas as cidades, pois a área instalada é menor em comparação as outras orientações. A soma da energia gerada pelos módulos das fachadas, leste e oeste, corresponde a 50% do consumo anual para Porto Alegre e 52% do consumo anual para Curitiba.

Tabela 10 – Resumo do consumo e geração anual de energia visando a estética da edificação para os casos estudados.

Caso	Fachada	Cidade/UF	Consumo Anual [kWh]	Geração Anual [kWh]	Energia Solar Fotovoltaica [%]
1	Todas Direções	Porto Alegre/RS	12.050,30	7.983,67	66,25
		Curitiba/PR	10.003,74	7.512,34	75,10
2	Norte	Porto Alegre/RS	12.050,30	1.286,90	10,68
		Curitiba/PR	10.003,74	1.166,01	11,66
3	Leste - Oeste	Porto Alegre/RS	12.050,30	6.058,85	50,28
		Curitiba/PR	10.003,74	5.278,98	52,77

Fonte: Elaborado pela autora.



## **5 CONCLUSÕES**

A presente monografia foi proposta a fim de avaliar o desempenho energético de uma edificação multifamiliar com geração de energia solar fotovoltaica aplicada no envoltório nas zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 3 e analisar a possibilidade dessa geração suprir a demanda do modelo proposto. Para conduzir este estudo, foi feito um modelo da edificação e os resultados obtidos no EnergyPlus® e no SAM.

Concluiu-se que, para a edificação proposta, a geração de energia a partir da aplicação de módulos fotovoltaicos no envoltório supriu o consumo total de energia do pavimento da edificação no acumulado do ano para Porto Alegre e Curitiba. A cidade de Porto Alegre apresentou um consumo de energia elétrica superior quando comparado a Curitiba, principalmente por causa do uso de condicionamento de ar, isso em razão das características climáticas de Porto Alegre. Essas mesmas condições climáticas foram responsáveis por Porto Alegre apresentar melhor desempenho na geração de energia anual através dos módulos fotovoltaicos aplicados nas fachadas.

Portanto, é possível reduzir o consumo de energia da rede elétrica de uma edificação residencial visando a sustentabilidade e também se tornar autossuficiente com a geração fornecida por suas fachadas, dependendo da área disponível para esse fim e da orientação da fachada. O Brasil tem irradiação solar bastante significativa e a utilização de sistemas fotovoltaicos - tanto na cobertura, solo, quanto na fachada – poderia reduzir a necessidade de investimento em fontes convencionais, dependendo do comportamento da carga e do perfil de geração.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, propõe-se a realização de análise de viabilidade econômica do estudo. Também se sugere estudar mais um caso de orientação das fachadas para geração de energia, Caso 4 – Fachadas Leste, Oeste e Norte. Pode-se também realizar simulações para outras zonas bioclimáticas, a fim de comparar o desempenho do modelo proposto.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT. **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: 2005.
- BIG LADDER SOFTWARE. **Euclid**. Disponível em: <<https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- EPE. **Balço Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.
- IEA. **World Energy Balances 2020**. Paris: International Energy Agency, 2020.
- KALOGIROU, S. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- KRAUTER, S. et al. Combined photovoltaic and solar thermal systems for facade integration and building insulation. **Solar Energy**, v. 67, n. 4–6, p. 239–248, 1999.
- LAMBERTS, ROBERTO; DUTRA, LUCIANO; O. R. PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª. ed. ed. Florianópolis, Santa Catarina: [s.n.].
- LAUFFER, H. D. A. **Simulação e Análise de Diferentes Tecnologias de Módulos Fotovoltaicos Aplicados em uma Edificação Residencial Vertical**. São Leopoldo: UNISINOS, 2019.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Photovoltaic solar energy: A briefly review. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.
- MARRAMON, D. **ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE SOLUÇÕES PASSIVAS PARA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL FAMILIAR EM PORTO ALEGRE: TELHADO VERDE, PAREDES VERDES E PELÍCULA DE VIDRO** Porto Alegre, 2020.
- NAKANO, A. **Simulação de desempenho energético de tecnologias fotovoltaicas em fachada de edifício no município de São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **EnergyPlus**. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **System Advisor Model (SAM)**. Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6K-270P (270Wp)**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-270wp-canadian-csi-cs6k-270wp.html>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- PEREIRRA ET AL. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a**

**edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: Labsolar, 2004.

SANTOS, Í. P. DOS; RÜTHER, R. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 290–297, 2012.

TAVARES, S. F. **Metodologia De Análise Do Ciclo De Vida Energético De Edificações Residenciais Brasileiras.** Florianópolis: UFSC, 2006.

TRIMBLE. **SketchUp.** Disponível em: <<https://www.sketchup.com/>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

WEG. **SIW - SOLAR INVERTER WEG.** Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h09/h17/WEG-SIW-inversores-string-50105878-pt.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2021.

## ANEXOS

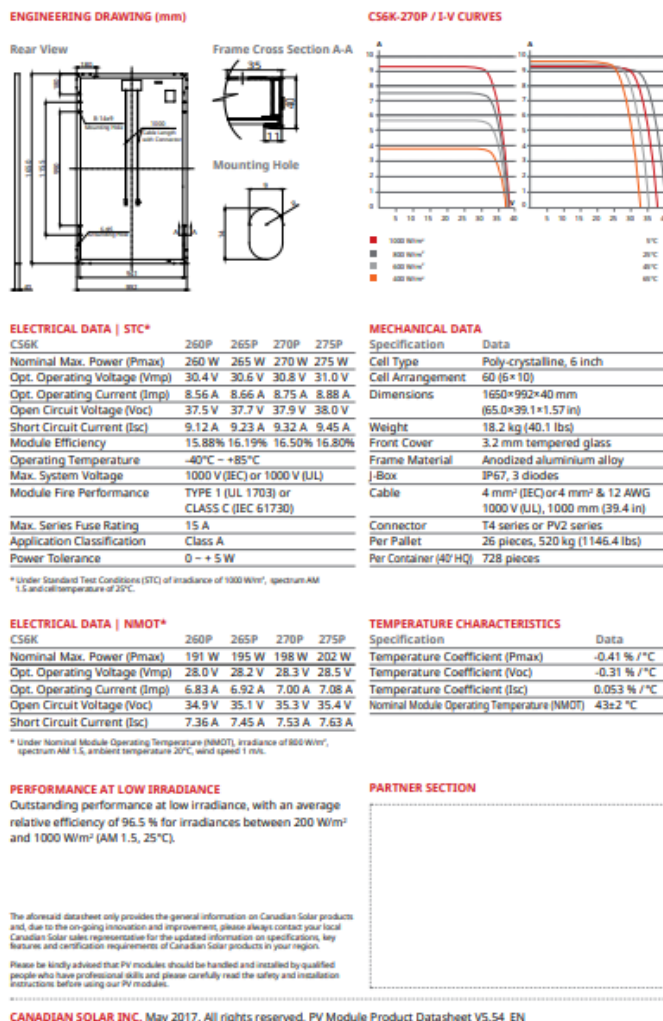
## Anexo A – Características físicas do modelo de edificação

Tabela 4.9: Características físicas e ocupacionais do modelo 2

Ocupacionais (por unidade)	
Nº Habitantes	2
Renda Familiar	7 Salários Mínimos
Consumo Energia Elétrica	160,00 kWh/mês
Consumo Energia p/ cocção	240,00 kWh/mês
Equipamentos básicos	Aparelho de som, Aspirador de pó, Batedeira, Cafeteira elétrica, Chuveiro Elétrico, Ferro de passar, Fogão, Forno de Microondas, Geladeira, Lavadora de roupa, Liquidificador, Secadora de roupa, Televisão, Ventilador/Circulador de Ar, Videocassete.
Físicas	
Área da unidade	70 m <sup>2</sup> ,
Dimensões Totais	4 pavimentos 16 unidades
	Área Total 1240 m <sup>2</sup>
	Área do Pav. Tipo 310 m <sup>2</sup>
	Área do terreno 400 m <sup>2</sup>
	Externas 10 x 31 m
Divisões internas por unidade	Pé direito 2,8 m
	Sala 22,5 m <sup>2</sup>
	2 Quartos 27,0 m <sup>2</sup>
	Cozinha 8,0 m <sup>2</sup>
	Banheiro 6,0 m <sup>2</sup>
	Área de serviço 2,0 m <sup>2</sup>
	Circulações 4,5 m <sup>2</sup>
Estrutura	Concreto armado
Paredes internas	Blocos de concreto (9 x 19 x 39), Dim. totais = 14 cm ( 9 bloco, 2,5 reb. Int., 2,5 reb. Ext.)
Paredes externas	Blocos de concreto (19 x 19 x 39), Dim. totais = 24 cm ( 19 bloco, 2,5 reb. Int., 2,5 reb. Ext.)
Acabamentos das Paredes	Reboco interno e externo, pintura em branco. Azulejos até o teto na cozinha e banheiro.
Lajes	Laje armada em blocos cerâmicos, vigotas em concreto armado. Espessura total 12 cm, rebocada.
Cobertura	Telhas de fibrocimento sobre estrutura de madeira.
Janelas	Esquadrias de alumínio, vidros planos simples esp. 3mm. Área de esquadrias = 1/6 da área do piso
Portas	Portas em madeira: Ext. 0,9 x 2,10; int. 0,7 x 2,10
Pisos	Banheiro e cozinha em cerâmica comum nos demais cômodos em carpete.

Fonte: (TAVARES, 2006)

### Anexo B – Datasheet dos módulos fotovoltaicos utilizados no estudo



**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
j-Box	3P67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per Container (40' HQ)	728 pieces

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	191 W	195 W	198 W	202 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.0 V	28.2 V	28.3 V	28.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.83 A	6.92 A	7.00 A	7.08 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.36 A	7.45 A	7.53 A	7.63 A

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**  
 Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).



The attached datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.  
 Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC. May 2017. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.54\_EN

Fonte: (NEOSOLAR, 2021)

### Anexo C – Datasheet do inversor selecionado para o estudo

Especificações técnicas	M020 L1	M030 L1	M040 L1	M050 L1	M060 L1
			Eficiência		
Eficiência máxima	98,20%	98,30%	98,40%	98,40%	98,40%
			Entrada		
Tensão de entrada máxima	600 V	600 V	600 V	600 V	600 V
Faixa de operação do MPPT	80 V ~ 600 V	80 V ~ 600 V	80 V ~ 600 V	80 V ~ 600 V	80 V ~ 600 V
Tensão de partida	100 V	100 V	100 V	100 V	100 V
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	90 V ~ 560 V	90 V ~ 560 V	90 V ~ 560 V	90 V ~ 560 V	90 V ~ 560 V
Corrente de entrada máxima/MPPT	12,5 A	12,5 A	12,5 A	12,5 A	12,5 A
Corrente de curto-circuito máxima	18 A	18 A	18 A	18 A	18 A
Número de MPPTs	2	2	2	2	2
Número máximo de entradas por MPPT	1	1	1	1	1
			Saída		
Conexão à rede	Monofásica	Monofásica	Monofásica	Monofásica	Monofásica
Potência nominal de saída	2.000 W	3.000 W	4.000 W	5.000 W	6.000 W
Potência aparente máxima	2.200 VA	3.300 VA	4.400 VA	5.500 VA	6.000 VA
Tensão de saída nominal	220 V	220 V	220 V	220 V	220 V
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	15 A	15 A	20 A	25 A	27,3 A
Fator de potência ajustável	0,8 adiantado/ 0,8 atrasado	0,8 adiantado/ 0,8 atrasado	0,8 adiantado/ 0,8 atrasado	0,8 adiantado/ 0,8 atrasado	0,8 adiantado/ 0,8 atrasado
Distorção harmônica total máxima	≤3%	≤3%	≤3%	≤3%	≤3%

Fonte: (WEG, 2021)

## APÊNDICES

### Apêndice A – Perfis horários

Tabela A.1 – Perfil de ocupação das zonas térmicas.

Período	Sala	Cozinha	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2
00:00 - 07:00	0%	0%	0%	100%	0%
07:00 - 07:30	0%	50%	50%	0%	0%
07:30 - 08:00	0%	50%	0%	0%	0%
08:00 - 10:00	0%	0%	0%	50%	0%
11:00 - 12:00	50%	0%	0%	0%	0%
12:00 - 13:00	0%	50%	0%	0%	0%
15:00 - 17:00	0%	0%	0%	0%	50%
17:30 - 18:00	0%	0%	50%	0%	0%
18:00 - 20:00	0%	100%	0%	0%	0%
20:00 - 22:00	100%	0%	0%	0%	0%
22:00 - 24:00	0%	0%	0%	100%	0%

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela A.2 – Perfil de funcionamento da iluminação.

Período	Sala	Cozinha	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2
00:00 - 07:00	0%	0%	0%	0%	0%
07:00 - 07:30	0%	100%	100%	0%	0%
07:30 - 08:00	0%	100%	0%	0%	0%
08:00 - 10:00	0%	0%	0%	100%	0%
11:00 - 12:00	100%	0%	0%	0%	0%
12:00 - 13:00	0%	100%	0%	0%	0%
15:00 - 17:00	0%	0%	0%	0%	100%
17:30 - 18:00	0%	0%	100%	0%	0%
18:00 - 20:00	0%	100%	0%	0%	0%
20:00 - 22:00	100%	0%	0%	0%	0%
22:00 - 24:00	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela A.3 – Perfil de funcionamento dos equipamentos elétricos.

Período	Sala	Cozinha	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2
00:00 - 07:00	0%	0%	0%	0%	0%
07:00 - 07:30	0%	100%	100%	0%	0%
07:30 - 08:00	0%	100%	0%	0%	0%
08:00 - 10:00	0%	0%	0%	100%	0%
11:00 - 12:00	100%	0%	0%	0%	0%
12:00 - 13:00	0%	100%	0%	0%	0%
15:00 - 17:00	0%	0%	0%	0%	100%
17:30 - 18:00	0%	0%	100%	0%	0%
18:00 - 20:00	0%	100%	0%	0%	0%
20:00 - 22:00	100%	0%	0%	0%	0%
22:00 - 24:00	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pela autora.