

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**KAMILLE BEATRIZ DE FREITAS**

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO EM  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Araranguá, SC

2019

KAMILLE BEATRIZ DE FREITAS

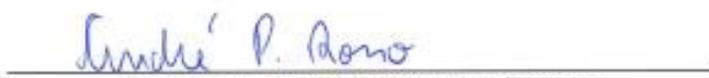
**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO EM  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

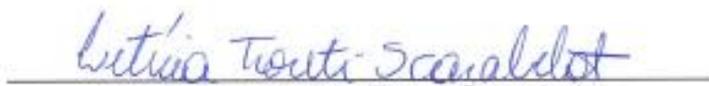
Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado à Universidade Federal de  
Santa Catarina, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 18 de novembro de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Eng. Me. André Possamai Rosso  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Profa. Me. Leticia Toret Scarabelot  
Universidade Federal de Santa Catarina

# SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO EFEITO DE SOMBREAMENTO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Kamille Beatriz de Freitas\*

## RESUMO

A integração de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica de distribuição se consolidou a partir da publicação da Resolução Normativa N° 482, que regulamenta a geração distribuída no Brasil, motivando um crescente aumento na instalação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída. Os sistemas fotovoltaicos instalados em edificações no meio urbano podem receber sombreamentos parciais, tanto pelo seu entorno como por elementos da própria edificação, e para este operar no seu melhor desempenho, é importante o estudo e avaliação do recurso solar, a localização geográfica no qual o sistema fotovoltaico será instalado e a configuração do arranjo para dimensionamento. O trabalho apresenta uma análise comparativa de desempenho de um sistema fotovoltaico instalado em duas cidades brasileiras com localizações geográficas distintas. As cidades são Bom Jesus da Lapa-BA, localizada no nordeste, região que apresenta os maiores índices de irradiação solar, e Florianópolis-SC, localizada no sul, região com os menores índices de irradiação solar. Ambas as análises consideram a presença de um obstáculo que ocasiona sombreamento parcial sobre o sistema fotovoltaico, a fim de verificar a influência na produção energética e suas perdas ao longo do ano. A análise foi realizada a partir dos resultados provenientes de simulação em software. Os resultados das simulações demonstraram que a produtividade do sistema fotovoltaico instalado em Bom Jesus da Lapa, sem os cenários com sombreamento parcial, variou apenas 23,01 % durante o ano, enquanto Florianópolis variou 37,65 %. Apesar de Bom Jesus da Lapa apresentar menor variação de produtividade, as simulações que apresentam os cenários com sombreamento parcial apontam que esta cidade teve as maiores perdas energéticas. Os meses que apresentaram as maiores perdas por sombreamento parcial foram os meses de Junho e Julho. Bom Jesus da Lapa apresentou perdas de até 55,5 % neste período, enquanto Florianópolis apresentou perdas de até 51,4 %.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico. Efeito de Sombreamento. Sombreamento Parcial.

---

\*Graduanda de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP: 88900-000. Email: kamillebf@hotmail.com

## ABSTRACT

The integration of photovoltaic systems in the distribution grid was consolidated after the publication of Normative Resolution No. 482, which regulates distributed generation in Brazil, leading to a growing increase in the installation of distributed generation photovoltaic systems. Photovoltaic systems installed on urban buildings can receive partial shading, both by their surroundings and the elements of the building itself, and for that to operate at its best, it is important the study and evaluation of the solar resource, the geographical location in which the photovoltaic system will be installed and the configuration of the arrangement for sizing. This paper presents a comparative performance analysis of a photovoltaic system installed in two Brazilian cities from different geographic locations. The cities are Bom Jesus da Lapa-BA, located in the northeast, region with the highest rates of solar irradiation, and Florianópolis-SC, located in the south, region with the lowest rates of solar irradiation. Both analyses considered the presence of an obstacle that causes partial shading on the photovoltaic system in order to verify the influence on energy production and its losses throughout the year. The analysis was performed from the results from software simulation. The simulation results showed that the productivity of the photovoltaic system installed in Bom Jesus da Lapa, without the partial shading scenarios, varied only 23.01% during the year, while in Florianópolis varied 37.65%. Although Bom Jesus da Lapa presented the lowest productivity variation, the simulations that show the scenarios with partial shading indicate that this city had the highest energy losses. The months with the largest partial shading losses were June and July. Bom Jesus da Lapa presented losses up to 55.5% in this period, while Florianópolis presented losses up to 51.4%.

**Keywords:** Photovoltaic systems. Shading effect. Partial shading.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira (Fonte: ABSOLAR, 2019). .....	12
Figura 2 - Projeção de potência instalada (MW) no Brasil (Fonte: ANEEL, 2019).....	12
Figura 3 - Irradiação solar global no plano horizontal.....	14
Figura 4 - Irradiação solar global no plano horizontal no Brasil. ....	15
Figura 5 - Translação da Terra em torno do Sol (Fonte: SARAIVA, <i>et al.</i> , 2013).....	16
Figura 6 - Possível ligação para um diodo bypass entre células. (Fonte: CRESESB, 2008)...	17
Figura 7 - Radiação solar global média diária mensal de Bom Jesus da Lapa/BA. ....	19
Figura 8 - Radiação solar global média diária mensal de Florianópolis/SC. ....	20
Figura 9 - Especificações do módulo fotovoltaico (Fonte: System Advisor Model). ....	21
Figura 10 - Especificações do inversor (Fonte: System Advisor Model). ....	22
Figura 11 - Posicionamento do sistema fotovoltaico e obstáculo nos eixos X, Y e Z.....	25
Figura 12 - Efeito do sombreamento na produtividade do sistema (kWh/kWp) em Bom Jesus da Lapa - BA. (Fonte: Da autora). ....	26
Figura 13 - Efeito do sombreamento na produtividade do sistema (kWh/kWp) em Florianópolis - SC. (Fonte: Da autora).....	27
Figura 14 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Bom Jesus da Lapa.....	30
Figura 15 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Bom Jesus da Lapa.....	31
Figura 16 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Florianópolis. ....	31
Figura 17 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Florianópolis. ....	32
Figura 18 - Produtividade do sistema para o mês de Fevereiro, em Bom Jesus da Lapa. ....	40
Figura 19 - Produtividade do sistema para o mês de Março, em Bom Jesus da Lapa. ....	41
Figura 20 - Produtividade do sistema para o mês de Abril, em Bom Jesus da Lapa. ....	41
Figura 21 - Produtividade do sistema para o mês de Maio, em Bom Jesus da Lapa.....	42
Figura 22 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Bom Jesus da Lapa.....	42
Figura 23 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Bom Jesus da Lapa.....	43
Figura 24 - Produtividade do sistema para o mês de Agosto, em Bom Jesus da Lapa.....	43
Figura 25 - Produtividade do sistema para o mês de Setembro, em Bom Jesus da Lapa. ....	44
Figura 26 - Produtividade do sistema para o mês de Outubro, em Bom Jesus da Lapa. ....	44
Figura 27 - Produtividade do sistema para o mês de Fevereiro, em Florianópolis. ....	45
Figura 28 - Produtividade do sistema para o mês de Março, em Florianópolis. ....	46
Figura 29 - Produtividade do sistema para o mês de Abril, em Florianópolis. ....	46

Figura 30 - Produtividade do sistema para o mês de Maio, em Florianópolis. ....	47
Figura 31 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Florianópolis. ....	47
Figura 32 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Florianópolis. ....	48
Figura 33 - Produtividade do sistema para o mês de Agosto, em Florianópolis. ....	48
Figura 34 - Produtividade do sistema para o mês de Setembro, em Florianópolis. ....	49
Figura 35 - Produtividade do sistema para o mês de Outubro, em Florianópolis. ....	49

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparação da produtividade mensal (kWh/kWp) pelo ponto de análise das cidades de Bom Jesus da Lapa e Florianópolis. ....	28
Tabela 2 - Comparação das Perdas energéticas (%) pelo ponto de análise das cidades de Bom Jesus da Lapa e Florianópolis. ....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
$\varepsilon$	Excentricidade
$E_{anual}$	Energia elétrica anual produzida pelo sistema
$E_{fv}$	Energia gerada pelo sistema fotovoltaico
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de Capacidade
NREL	National Renewable Energy Laboratory
$P_{inst}$	Potência nominal do sistema
PP	Perda de Produtividade
$P_r$	Razão de performance
SAM	System Advisor Model
$Y_f$	Produtividade do Sistema
$Y_r$	Produtividade de referência solar
$Y_{sombreamento}$	Produtividade do sistema com efeito do sombreamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Radiação solar .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Radiação solar .....</b>	<b>18</b>
3.1.1	Radiação Solar em Bom Jesus da Lapa/BA .....	19
3.1.2	Radiação Solar em Florianópolis/SC .....	19
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....</b>	<b>20</b>
3.2.1	Índices de mérito .....	22
3.2.1.1	Produtividade do sistema ( $Y_f$ ).....	22
3.2.1.2	Perda de Produtividade (PP) .....	22
<b>3.3</b>	<b>Dimensões variáveis do obstáculo de sombreamento.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Simulações do sistema fotovoltaico .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>26</b>
4.1.1	Bom Jesus da Lapa – BA.....	26
4.1.2	Florianópolis - SC .....	27
4.1.3	Comparação dos resultados .....	28
4.1.3.1	Produtividade do Sistema Fotovoltaico .....	28
4.1.3.2	Perdas Energéticas.....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>40</b>
	<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>45</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é considerada uma das fontes renováveis mais promissoras atualmente. No Brasil, a integração dessa fonte de geração de energia elétrica na rede elétrica de distribuição expandiu principalmente após a regulamentação disposta na Resolução Normativa Nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e suas atualizações, em que estabelece as condições gerais para o acesso à microgeração distribuída (potência instalada iguais ou inferiores a 75 kW), a minigeração distribuída (potência instalada superiores a 75 kW até 5 MW), e aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica (ANEEL REN 482, 2012).

Além disso, devido às dimensões continentais do território brasileiro e por situar-se quase que inteiramente em uma região intertropical, o Brasil apresenta elevados índices de radiação solar, quando comparado com países europeus, em que a tecnologia fotovoltaica é disseminada para produção de energia elétrica, evidenciando ainda mais a possibilidade de crescimento dessa fonte de geração de energia no país. No entanto, o recurso solar não é o principal fator para o crescimento dessa fonte de geração de energia, existem outros fatores que são importantes, como investimentos e incentivos governamentais, regulamentações e normativas que compõem o pacote de viabilizar a inserção dessa tecnologia no Brasil (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2018, no Brasil, a energia solar fotovoltaica centralizada foi de 2.268 MW, equivalente a 1,3 % de participação na matriz elétrica brasileira, conforme apresentado na Figura 1, e a micro e minigeração distribuída foi de 1.123,8 MW, totalizando 3.481,4 MW de potência operacional.

O avanço da geração distribuída na matriz elétrica brasileira ocorreu principalmente nos anos de 2017, 2018 e 2019, e já ultrapassou a marca de 1,6 GW de potência instalada, sendo 1,49 GW procedente da energia solar fotovoltaica, com projeções de 4.577 MW para o ano de 2024, como apresentado na Figura 2 (ANEEL, 2019).

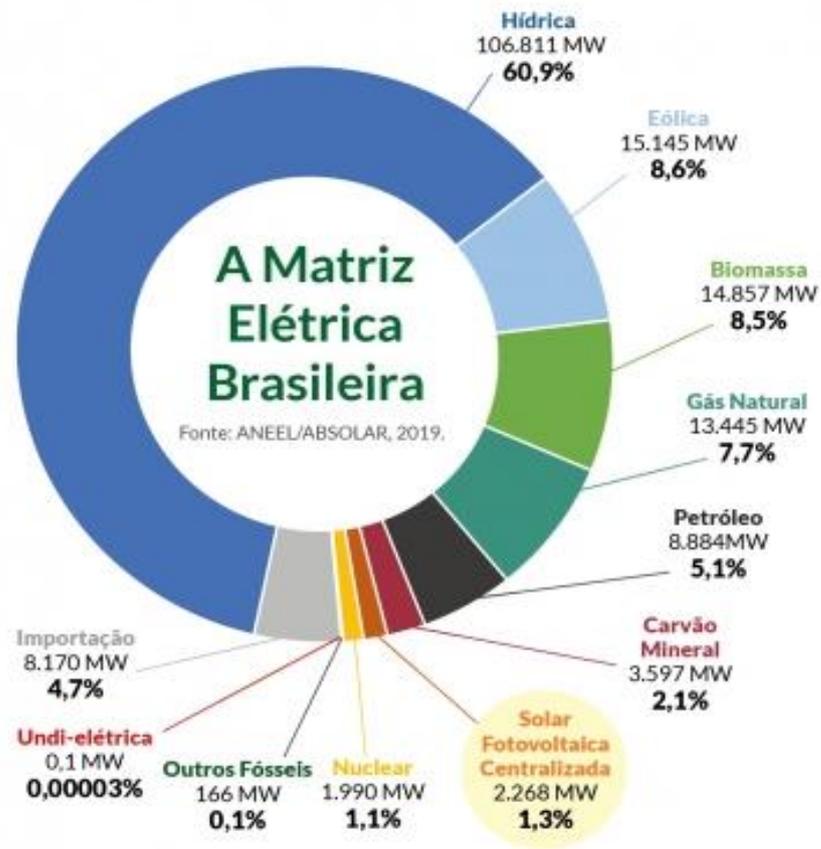


Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira (Fonte: ABSOLAR, 2019).

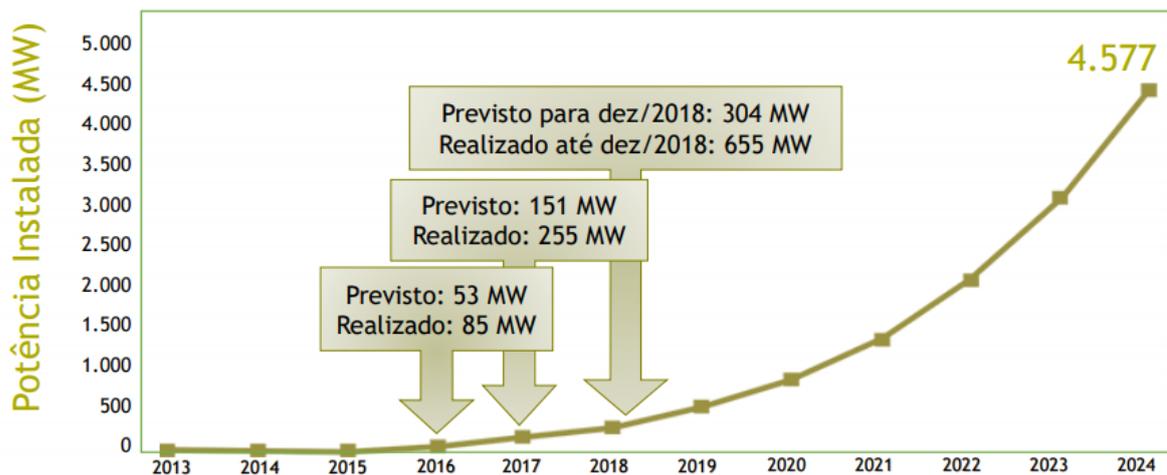


Figura 2 - Projeção de potência instalada (MW) no Brasil (Fonte: ANEEL, 2019).

A partir da integração dessa fonte de energia na rede elétrica e sistemas instalados em edificações no meio urbano, Pinho e Galdino (2014) consideram que as etapas preliminares de projeto são importantes para um sistema fotovoltaico de geração distribuída

operar no seu melhor desempenho, como a avaliação do recurso solar, a localização e a configuração do arranjo para dimensionamento.

Segundo Zomer (2014), edificações inseridas em meio urbano tendem a receber sombreamentos parciais, tanto do seu entorno quanto de elementos da própria edificação, e ainda apresentam limitações para o posicionamento dos módulos. Zomer (2014) apresenta um método que consiste em identificar e quantificar o sombreamento em uma superfície, relacionar a fração de área sombreada com o percentual de redução da irradiação solar incidente no mesmo período e propôs um índice de sombreamento que traduza as perdas na geração energética de sistemas parcialmente sombreados.

Zomer e Rüther (2014) apresentam os fatores que influenciam a produção energética para o caso de um gerador fotovoltaico instalado seguindo uma curvatura da arquitetura da edificação, como as características de inclinação e orientação dos módulos, e a integração do sistema fotovoltaico sobre uma edificação com cobertura curva, no qual cada faixa da cobertura recebe uma quantidade diferente de irradiação solar. Outro ponto destacado é o sombreamento parcial dos módulos, este responsável por grandes perdas de geração energética.

Ruschel e Krenzinger (2017) expõem que tanto usinas fotovoltaicas quanto sistemas fotovoltaicos integrados ao meio urbano, podem ter problemas com a existência de obstáculos possíveis de sombreamento, como construções vizinhas e vegetação.

Zomer e Rüther (2018) expõem que o diferencial de um sistema fotovoltaico de geração distribuída é a possibilidade de integrar-se nas edificações e no meio urbano, com funcionalidades de abrigar e produzir energia juntamente ao local de consumo, minimizando perdas de energia elétrica de transmissão e distribuição inerentes à energia entregue por centrais geradoras convencionais.

Em vista disso, esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo contribuir para estudos sobre o efeito causado pelo sombreamento parcial em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e consequentes perdas energéticas. A partir de simulação em software, é realizada a análise mensal do efeito do sombreamento parcial em sistemas fotovoltaicos em função da localização geográfica no qual o sistema fotovoltaico foi instalado e do obstáculo que teve suas dimensões de altura e distância variando em relação ao referencial.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os temas relevantes para compreensão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

### 2.1 Radiação solar

A radiação solar é a energia radiante emitida pelo sol sob a forma de onda eletromagnética, e pode ser dividida em três componentes: direta, difusa e de albedo (PINHO E GALDINO, 2014). A radiação direta é a componente que incide diretamente sobre a superfície, sem sofrer nenhuma influência, enquanto a radiação difusa é a componente que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre. A terceira componente é de albedo, radiação refletida pelo ambiente do entorno, como solo ou vegetação, quando a superfície está inclinada em relação à horizontal (PINHO E GALDINO, 2014; MACHADO; RAMPINELLI, 2018).

A distribuição da irradiação solar pela superfície terrestre é consideravelmente uniforme, sendo mais intensa na região da linha do equador e diminuindo gradualmente nas regiões polares, com pontos máximos nas zonas desérticas da África, das Américas, Ásia e Austrália, e pontos mínimos nas zonas polares, conforme ilustrado na Figura 3.

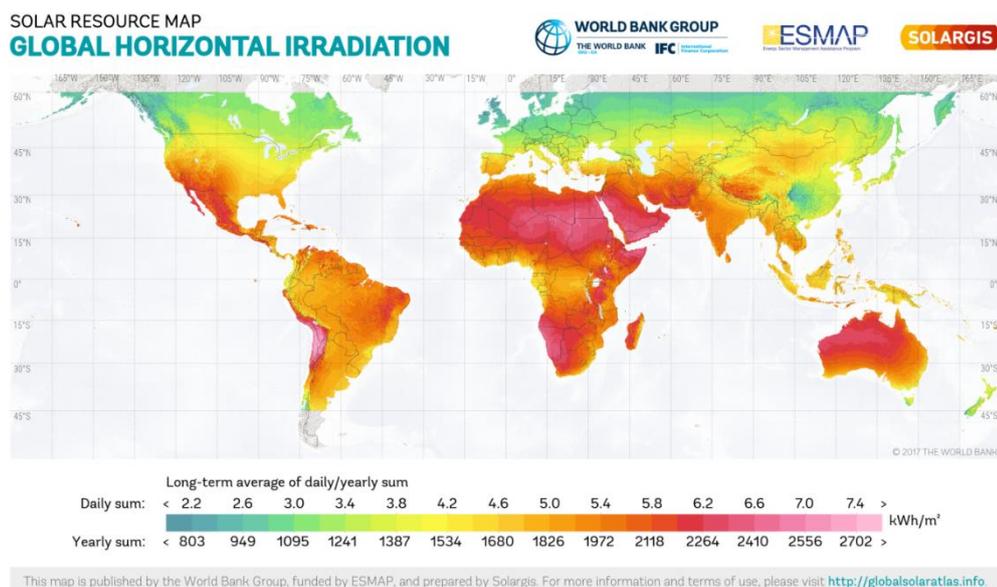


Figura 3 - Irradiação solar global no plano horizontal.  
(Fonte: 2017 *The World Bank, Solar resource data: Solargis*).

No Brasil, a distribuição de irradiação solar é bem significativa, apresentando pontos máximos na região nordeste e pontos mínimos na região sul do país, conforme Figura 4.



Figura 4 - Irradiação solar global no plano horizontal no Brasil.  
 (Fonte: 2017 *The World Bank, Solar resource data: Solargis*).

O movimento anual da Terra em torno do Sol descreve a trajetória elíptica com uma pequena excentricidade ( $\epsilon \approx 0,017$ ) e inclinação do eixo em relação ao plano normal à elipse de aproximadamente  $23,45^\circ$  (Figura 5). Esse movimento de translação juntamente com a inclinação do eixo origina as estações do ano. Em localidades de média e alta latitude, verificam-se dias mais longos no verão e dias mais curtos no inverno (PINHO E GALDINO, 2014; DUFFIE E BECKMAN, 2006).

Dessa forma, a variabilidade mensal de irradiação solar ocorre de acordo com a latitude e as diferenças na duração do dia entre as estações do ano. Na região nordeste do Brasil, a variabilidade mensal é baixa em virtude da latitude mais baixa e das pequenas variações na duração do dia entre as estações do ano, enquanto a região Sul apresenta maior variabilidade mensal, devido à latitude mais alta e maiores diferenças na duração do dia entre as estações do ano (BASTIAN, 2018).

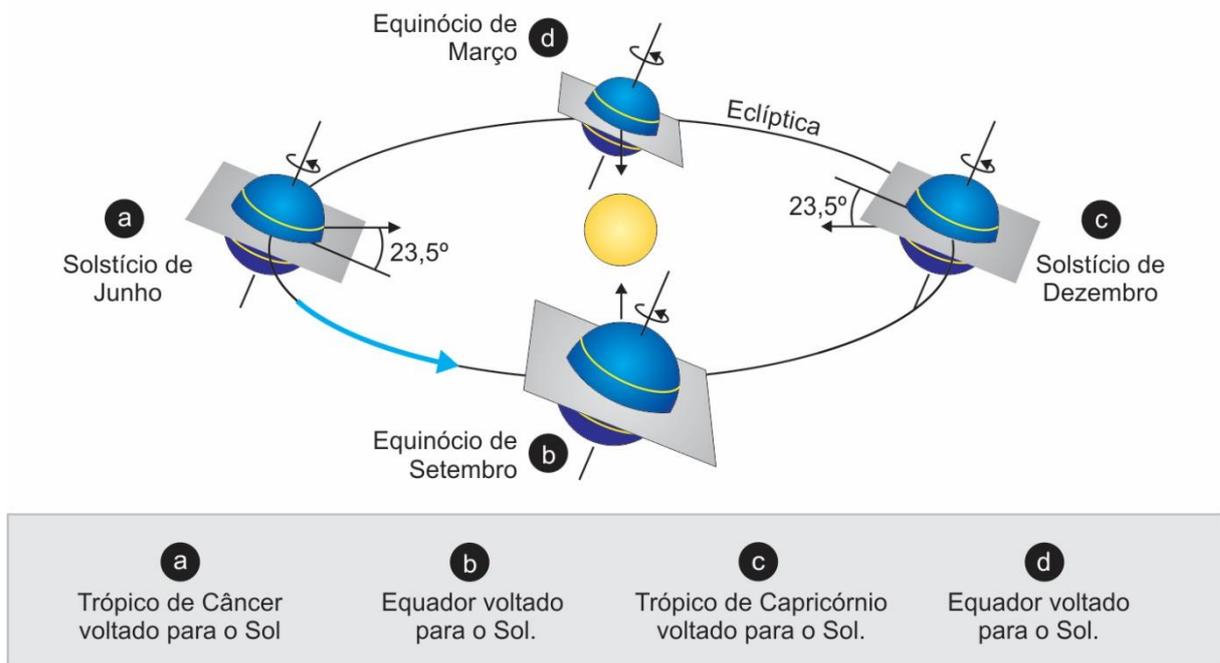


Figura 5 - Translação da Terra em torno do Sol (Fonte: SARAIVA, *et al.*, 2013)

Para cada local, há o melhor ângulo da inclinação do módulo fotovoltaico que maximiza a energia elétrica anualmente por sistemas fixos ligados a rede, e para maximizar a obtenção da radiação solar, comumente este é colocado com uma inclinação igual à latitude do local da instalação. Para a orientação dos módulos, deve-se colocar no sentido de receber os raios solares sempre na perpendicular, dessa forma, os módulos que estão no Hemisfério Norte são orientados para o Sul e os módulos que estão no Hemisfério Sul são orientados para o Norte (LOPES, 2013; DUFFIE E BECKMAN, 2006).

## 2.2 Efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos

Quando ocorre sombreamento em um sistema fotovoltaico, instantaneamente ocorre a redução de potência máxima de todo o módulo e se o módulo estiver conectado em série

com outros módulos, todo o painel poderá ser afetado, diminuindo seu desempenho na conversão de energia solar radiante em energia elétrica (CHEPP; KRENZINGER, 2018).

O efeito de sombreamento em uma célula fotovoltaica reduz a corrente elétrica da célula, fazendo com que a mesma atue como uma carga para o circuito, dissipando corrente de entrada e conseqüentemente aumentando sua temperatura, problema conhecido como *hotspot*. (LOPES, 2013; SOUZA; TAPIA, 2018).

Para minimização dos efeitos de sombreamento e de *hotspot*, os módulos fotovoltaicos atuais possuem diodos de desvio, chamados diodos *by-pass*, que são diodos conectados em antiparalelo com conjunto de células fotovoltaicas em série, no qual a corrente em excesso dos módulos é desviada do módulo de menor corrente pelos diodos, conforme apresentado na Figura 6. Dessa forma, esses módulos não produzem energia, mas também não se comportam como carga para o circuito (RUSCHEL; KRENZINGER, 2017; CHEPP, 2018; PEROZA E RAMPINELLI, 2018).

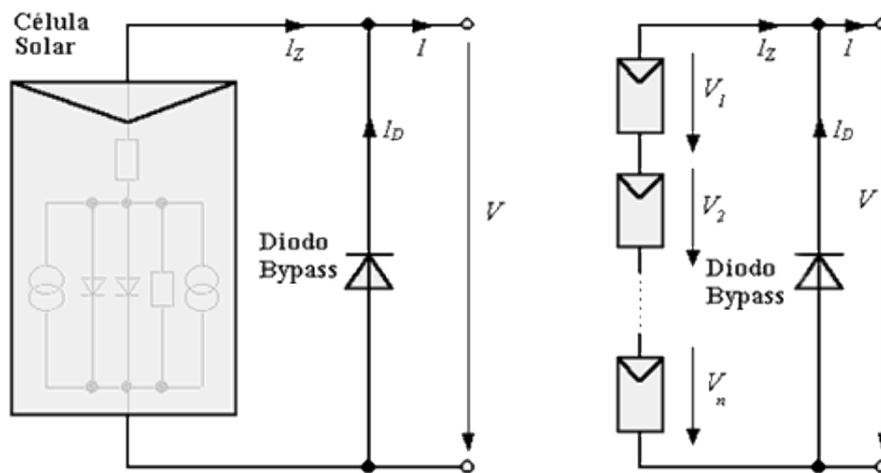


Figura 6 - Possível ligação para um diodo *by-pass* entre células. (Fonte: CRESESB, 2008)

Os diodos de *by-pass* são conectados de modo que a cada duas colunas de células (em torno de 20 células conectadas em série) nos módulos fotovoltaicos são separadas das restantes. Sendo assim, quando não há sombreamento no módulo, cada célula constituinte é polarizada diretamente enquanto que o diodo *by-pass* será polarizado inversamente, formando um circuito aberto para o fluxo de corrente. Porém, quando ocorre sombreamento em uma célula fotovoltaica, todas as células que estão conectadas no mesmo conjunto do diodo

também serão afetadas pelo sombreamento. Então, o diodo atua fazendo com que o fluxo de corrente passe por ele, sendo um caminho alternativo para corrente contornar as células sombreadas. Com isso, há diferenças importantes no sentido em que ocorre sombreamento em um módulo: considerando um módulo instalado na vertical, quando o sombreamento ocorre em uma coluna vertical, apenas duas colunas são afetadas e as outras não, mas se o sombreamento ocorre no sentido horizontal, todos os conjuntos serão afetados e todo o módulo opera como se recebesse apenas radiação difusa. Portanto, bloqueios horizontais a partir de 10% de um módulo fotovoltaico são análogos ao sombreamento total do mesmo (RUSCHEL; KRENZINGER, 2017; PEROZA E RAMPINELLI, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2018).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho consiste na realização de simulações e análises do efeito de sombreamento em um sistema gerador fotovoltaico, tendo como obstáculos de sombreamento uma parede, variando suas dimensões de altura e distância. Essas simulações foram realizadas em duas cidades diferentes com finalidade de analisar e comparar seus resultados finais. Esta seção apresenta a radiação solar das cidades estudadas neste trabalho, o efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos, o dimensionamento do sistema fotovoltaico e do obstáculo, e por fim, as simulações.

#### **3.1 Radiação solar**

Neste trabalho foram escolhidas duas cidades localizadas em regiões que possuem valores extremos de irradiação solar, sendo elas a cidade de Bom Jesus da Lapa – Bahia que se encontra na região nordeste do Brasil, com radiação solar de aproximadamente 2100 kWh/m<sup>2</sup>.ano, e a cidade de Florianópolis – Santa Catarina, que se encontra na região sul do país, com radiação solar de aproximadamente 1500 kWh/m<sup>2</sup>.ano, conforme Figura 4, para análise e comparação dos resultados finais.

### 3.1.1 Radiação Solar em Bom Jesus da Lapa/BA

A cidade de Bom Jesus da Lapa – BA encontra-se no nordeste, com 13° de latitude no Hemisfério Sul, e possui radiação solar média diária anual de 5,99 kWh/m<sup>2</sup>/dia, dado disponibilizado pela *Solar Finger Resource*, e a radiação solar global média diária mensal está apresentado na Figura 6.

A *Solar Finger Resource* utiliza a base de dados da NASA, que possui 22 anos de base de dados, com resolução espacial superficial de cerca de 100 km x 100 km, e fornece a radiação solar global inclinada incidente sobre uma superfície com ângulo de inclinação igual à latitude local.

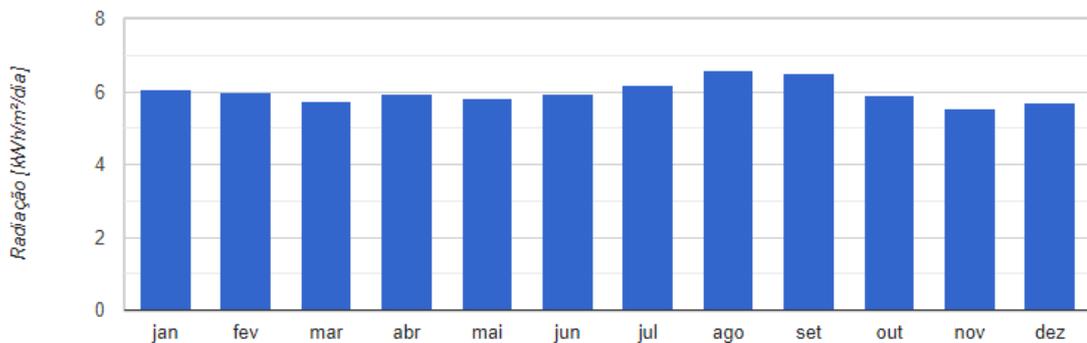


Figura 7 - Radiação solar global média diária mensal de Bom Jesus da Lapa/BA.

(Fonte: Solar Finger).

A pequena variabilidade na duração do dia entre as estações do ano e pouca variação de radiação solar durante o ano, conforme Figura 6, Bom Jesus da Lapa - BA apresenta seus pontos máximos nos meses de Agosto e Setembro, quando ocorre o Equinócio de Setembro, em que o sol, no seu movimento de translação, está direcionado para linha do Equador e consequentemente recebe maiores radiações solares.

### 3.1.2 Radiação Solar em Florianópolis/SC

A cidade Florianópolis – SC encontra-se na região sul do Brasil, com 27° de latitude no Hemisfério Sul, e possui radiação solar média diária anual de 4,45 kWh/m<sup>2</sup>/dia, dado

também disponibilizado pela *Solar Finger Resource* e a radiação solar global média diária mensal está apresentado na Figura 7.

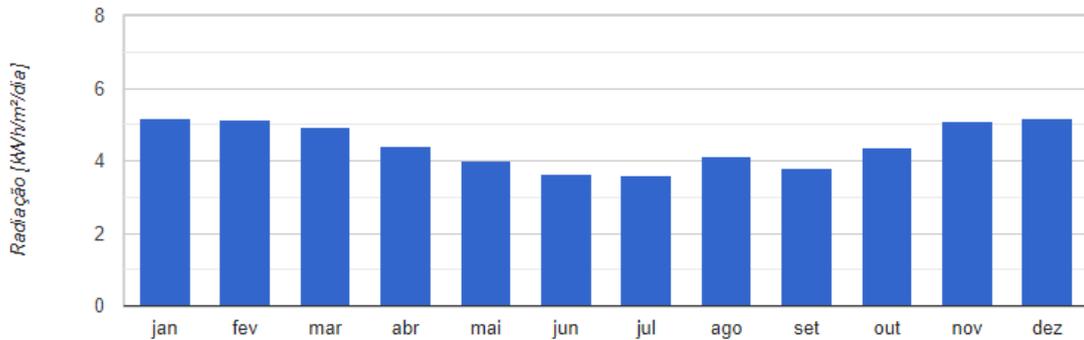


Figura 8 - Radiação solar global média diária mensal de Florianópolis/SC.

(Fonte: Solar Finger).

Florianópolis/SC está localizada em latitudes mais altas e possui maior variabilidade na duração do dia entre as estações do ano, ou seja, também há maior variabilidade de radiação solar mensal.

Conforme a Figura 7 é possível analisar que os meses em que há maior radiação solar é o período em que ocorre o Solstício de Dezembro, quando o sol, em seu movimento de translação, está direcionado para o Trópico de Capricórnio (23° do Hemisfério Sul), em oposição aos meses de Junho e Julho que ocorre o Solstício de Junho, em que o sol está direcionado para o Trópico de Câncer (23° do Hemisfério Norte), e assim recebe menores radiações solares.

### 3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Conforme Fedrigo, *et al.* (2009), o consumo médio residencial na região Sul é 267,2 kWh/mês e para região Nordeste o consumo é de 97 kWh/mês. Dessa forma, para o sistema fotovoltaico atender 100 % o consumo de energia elétrica em ambas as cidades estudadas, foi considerado o maior consumo residencial entre as duas regiões, ou seja, o consumo médio residencial de 267,2 kWh/mês.

Para definir a potência instalada do sistema fotovoltaico, foi considerado valores a produtividade de referência solar ( $Y_r$ ) igual a 1642 kWh/kW, dado disponibilizado no Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica da *European Commission*, e razão de performance ( $P_r$ ) de 0,8, ambos considerados para a região sul do Brasil. Considerando a rede

monofásica, temos que a sua disponibilidade é de 360 kWh/ano. O cálculo para estimar a potência instalada do sistema fotovoltaico está expresso na Equação 1:

$$E_{fv} = P_{inst} \cdot Y_r \cdot P_r \quad (1)$$

Sendo:

$E_{fv}$ : energia gerada pelo sistema fotovoltaico (kWh);

$P_{inst}$ : potência nominal do sistema (kWp);

$Y_r$ : produtividade de referência solar (kWh/kW);

$P_r$ : razão de performance.

O consumo residencial anual menos a disponibilidade da rede monofásica é igual à energia gerada pelo sistema ( $E_{fv}$ ). Usando a Equação 1 tem-se que um sistema fotovoltaico de geração distribuída que atenda este consumo, é um sistema com potência instalada ( $P_{inst}$ ) de 2,5 kWp.

Para obter a potência instalada de 2,5 kWp do sistema fotovoltaico, um dos possíveis arranjos que atendia este sistema no *software System Advisor Model (SAM)*, foi de 10 módulos fotovoltaicos da fabricante Yingli Solar, modelo YL 250 P com 250 W cada, em apenas 1 *string*, sendo suas especificações apresentadas na Figura 8, e 1 inversor da fabricante ABB, modelo UNO – 2.5 – I – OUTD, de 2500 W, com suas especificações apresentadas na Figura 9.

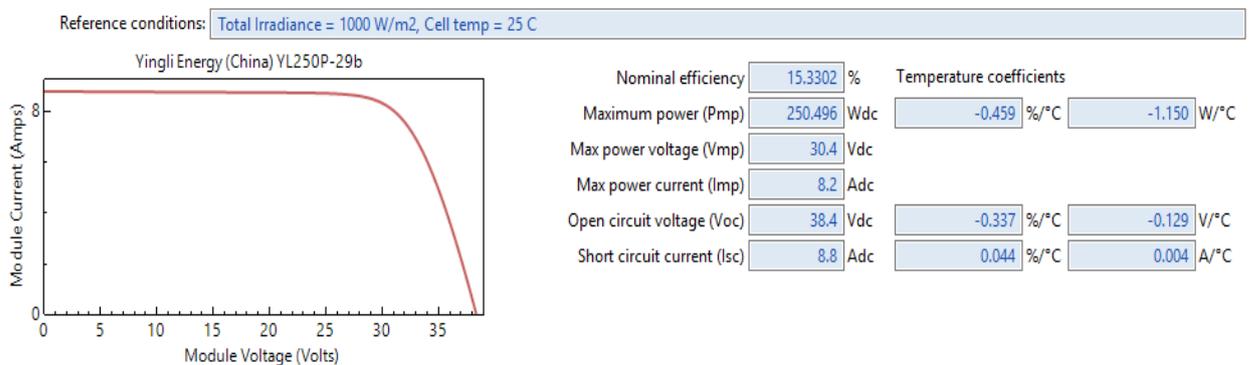


Figura 9 - Especificações do módulo fotovoltaico (Fonte: System Advisor Model).

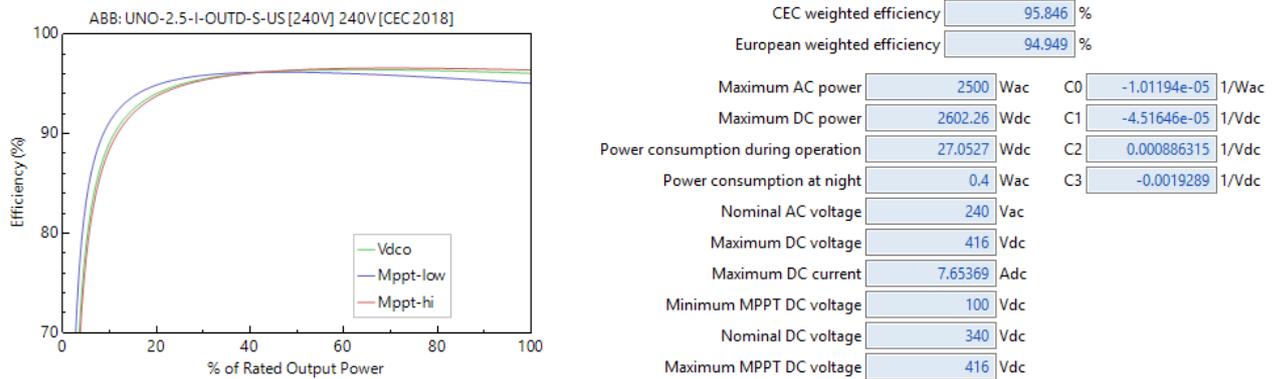


Figura 10 - Especificações do inversor (Fonte: System Advisor Model).

### 3.2.1 Índices de mérito

#### 3.2.1.1 Produtividade do sistema ( $Yf$ )

A produtividade do sistema ( $Yf$ ) é a razão entre a energia elétrica produzida e a potência nominal do sistema, que está relacionada diretamente com a disponibilidade de irradiação solar na superfície dos módulos (ZOMER, 2014), está expressa pela Equação 2.

$$Yf = \frac{E_{anual}}{P_{inst}} \quad (2)$$

Sendo:

$Yf$ : produtividade do sistema (kWh/kWp);

$E_{anual}$ : energia elétrica anual produzida pelo sistema (Wh);

$P_{inst}$ : potência nominal do sistema (kWp).

#### 3.2.1.2 Perda de Produtividade (PP)

A perda de produtividade é calculada por uma regra de três simples, sendo um menos a razão da geração de energia do sistema com o efeito do sombreamento pela geração de energia do sistema sem o efeito do sombreamento, multiplicado por cem para unidade ficar em percentual, expressa pela Equação 3.

$$PP = \left[ 1 - \frac{Y_{\text{sombreamento}}}{Y_f} \right] * 100 \quad (3)$$

Sendo:

$PP$ : perda de produtividade (%);

$Y_f$ : produtividade do sistema (kWh/kWp);

$Y_{\text{sombreamento}}$ : produtividade do sistema com efeito do sombreamento (kWh/kWp).

Nesse trabalho, os índices de mérito serão calculados pela energia mensal produzida pelo sistema fotovoltaico (Wh), visto que o sombreamento ocasionado no arranjo varia mensalmente com a irradiação solar, que ocorre de acordo com a latitude e as diferenças na duração do dia entre as estações do ano.

### 3.3 Dimensões variáveis do obstáculo de sombreamento

Visto o crescimento de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída integrados ao meio urbano, a análise das características de cada instalação é importante para definir o desempenho da geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico, as possibilidades de obstáculos que ocasionam o sombreamento, e por fim, sua viabilidade. Com isso, objetivo de analisar o sombreamento sobre o sistema fotovoltaico dimensionado foi para simular quanto o obstáculo em estudo afeta o desempenho do sistema.

Neste trabalho, considerou-se como obstáculo uma parede com largura de 25 metros, que pode ser caracterizada desde paredes de extremidades vizinhas como também edifícios de até oito andares (aproximadamente 35 metros de altura), variando sua altura e a sua distância do ponto de referencial, ou seja, do sistema fotovoltaico.

Para realizar as simulações, o obstáculo foi posicionado com sua altura no eixo Z e sua distância em relação ao sistema fotovoltaico no eixo Y, este apontado para o norte geográfico.

A dimensão de largura foi considerada fixa com 25 metros, a dimensão de altura houve variação de 5 a 25 metros, e a dimensão de distância em relação ao sistema fotovoltaico houve variação de 5 a 35 metros, ambos com intervalos de 5 metros cada.

As simulações foram feitas para cada ponto variável, totalizando 420 pontos de análise para cada cidade estudada, conseguinte, 840 pontos de análise de sombreamento para este trabalho.

### **3.4 Simulações do sistema fotovoltaico**

As simulações de sombreamento do sistema fotovoltaico foram realizadas no *software* SAM, desenvolvido pelo laboratório americano *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) pertencente ao Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (EUA).

Este *software* computacional proporciona realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, como também criar simulações de sombreamento apresentando valores aproximados da geração de energia do sistema mensalmente, de acordo com o potencial solar da região de instalação, módulo e inversor definidos no dimensionamento.

Depois de realizadas as simulações, os dados obtidos foram compilados no *Microsoft Excel* e criados gráficos da produtividade do sistema em relação a pontos considerados importantes para uma visão anual e comparar os melhores e piores casos de ambas as cidades estudadas. Por fim, foi utilizada a ferramenta MATLAB, para elaboração de gráficos mensais da produtividade do sistema e de perdas de produtividade, no qual foi possível analisar o efeito do sombreamento na geração de energia do sistema fotovoltaico e o seguimento de cada variável.

Na simulação, o sistema fotovoltaico estudado foi posicionado em um ponto referencial com valor Zero nos eixos X, Y e Z, direcionado para o norte geográfico, com inclinação angular próximo ao ângulo de latitude do local instalado, ou seja, com inclinação de 10° para Bom Jesus da Lapa e 20° para Florianópolis.

Os sombreamentos ocorreram de acordo com a variação da altura do obstáculo e sua distância em relação ao sistema no eixo Y, como o exemplo da Figura 10. Dessa forma, todos os tipos de sombreamento que ocorreram sobre o sistema fotovoltaico estudado foram sombreamentos verticais.

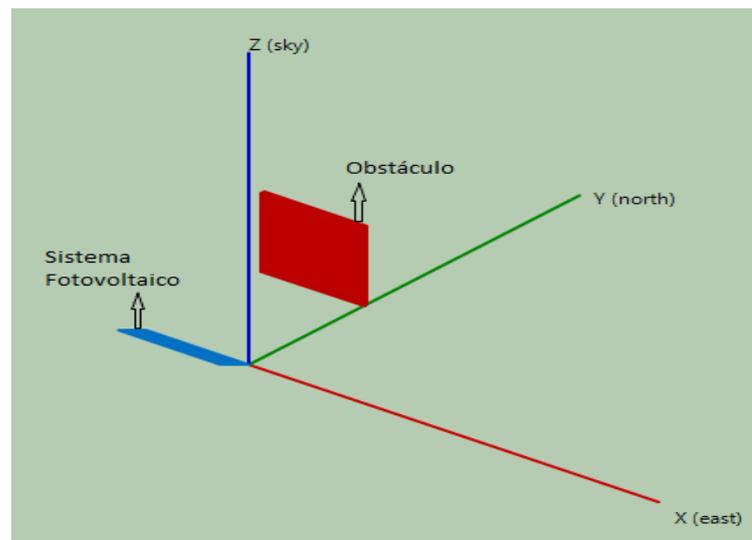


Figura 11 - Posicionamento do sistema fotovoltaico e obstáculo nos eixos X, Y e Z.

(Fonte: Da autora).

Depois de realizadas as simulações de sombreamento no sistema fotovoltaico, o *software* SAM apresentou dados de geração de energia em kWh/mês que o sistema produziu com o sombreamento ocasionado. Com a coleta desses dados, calculou-se a  $Yf$  mensalmente de acordo com as variações das dimensões de altura do obstáculo e distância do mesmo ao referencial.

Com os valores calculados de  $Yf$ , foram criados gráficos no *Microsoft Excel* da produtividade do sistema que apresentam 3 pontos considerados importantes para análise, sendo eles: “Melhor caso”, onde o sistema fotovoltaico não possui sombreamento e atua no seu melhor desempenho, o “Médio caso”, no qual há sombreamento do obstáculo com altura de 15 metros e a uma distância de 10 metros do sistema, e por fim, o “Pior caso”, no qual há sombreamento do obstáculo com altura de 25 metros e distância de 5 metros do sistema fotovoltaico, e ainda, com os valores de  $Yf$  foi possível calcular o índice PP.

Logo após, criou-se pela ferramenta MATLAB, gráficos que apresentam a  $Yf$  pela altura e distância do obstáculo e gráficos de PP. Através desses gráficos, foi possível calcular e analisar quais foram as variáveis que tiveram maiores perdas energéticas por sombreamento no sistema fotovoltaico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através das simulações e os gráficos gerados para análise neste estudo.

### 4.1.1 Bom Jesus da Lapa – BA

Para a cidade de Bom Jesus da Lapa, os resultados de produtividade com os pontos de “Melhor caso”, “Médio caso” e “Pior caso” são apresentados na Figura 11.

Na Figura 11 foi possível analisar que no melhor caso, quando não ocorre sombreamento sobre o sistema fotovoltaico, a  $Y_f$  máxima chega aproximadamente a 160 kWh/kWp nos meses de Agosto e Setembro, quando ocorre mudança de estação do inverno para a primavera, e conforme a Figura 5, é neste período que acontece o Equinócio de Setembro, quando o sol está direcionado para linha do Equador. E ainda, a  $Y_f$  mínima foi de aproximadamente 120 kWh/kWp nos meses de Novembro e Dezembro, quando ocorre a mudança de estação da primavera para o verão e como visto na Figura 5, nesse período acontece o Solstício de Dezembro, quando o sol está direcionado para o Trópico de Capricórnio, ou seja, a inclinação do eixo da Terra em relação ao plano normal à elipse de aproximadamente  $23,45^\circ$ . Essas características também são perceptíveis quando comparadas com a radiação solar global média mensal apresentada na Figura 6.

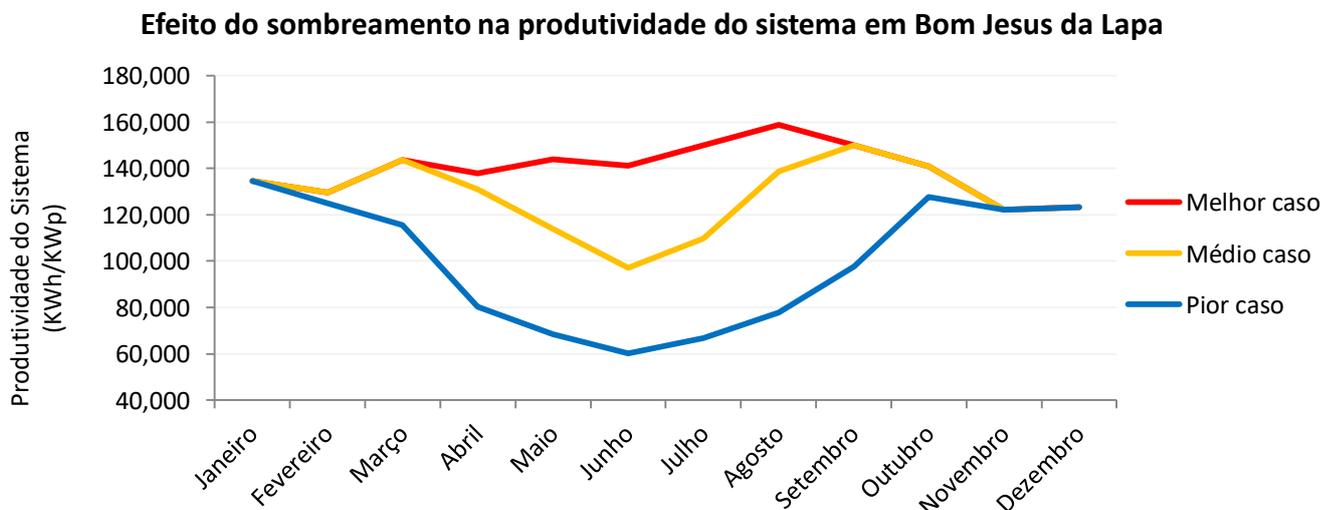


Figura 12 - Efeito do sombreamento na produtividade do sistema (kWh/kWp) em Bom Jesus da Lapa - BA. (Fonte: Da autora).

No pior caso, quando ocorre maior sombreamento, foi possível analisar que a  $Y_f$  máxima ocorreu nos meses de Janeiro e Fevereiro, aproximadamente 130 kWh/kWp, enquanto a  $Y_f$  mínima foi de 60 kWh/kWp nos meses de Junho e Julho.

#### 4.1.2 Florianópolis - SC

Para a cidade de Florianópolis, os resultados de produtividade com os pontos de “Melhor caso”, “Médio caso” e “Pior caso” são apresentados na Figura 12.

A Figura 12, quando não ocorre sombreamento sobre o sistema fotovoltaico, apresenta a  $Y_f$  máxima está acima de 140 kWh/kWp nos meses de Dezembro e Janeiro. E ainda, a  $Y_f$  mínima foi de aproximadamente 90 kWh/kWp nos meses de Junho e Julho. Essas características também podem ser comparadas com a radiação solar global média mensal apresentada na Figura 7.

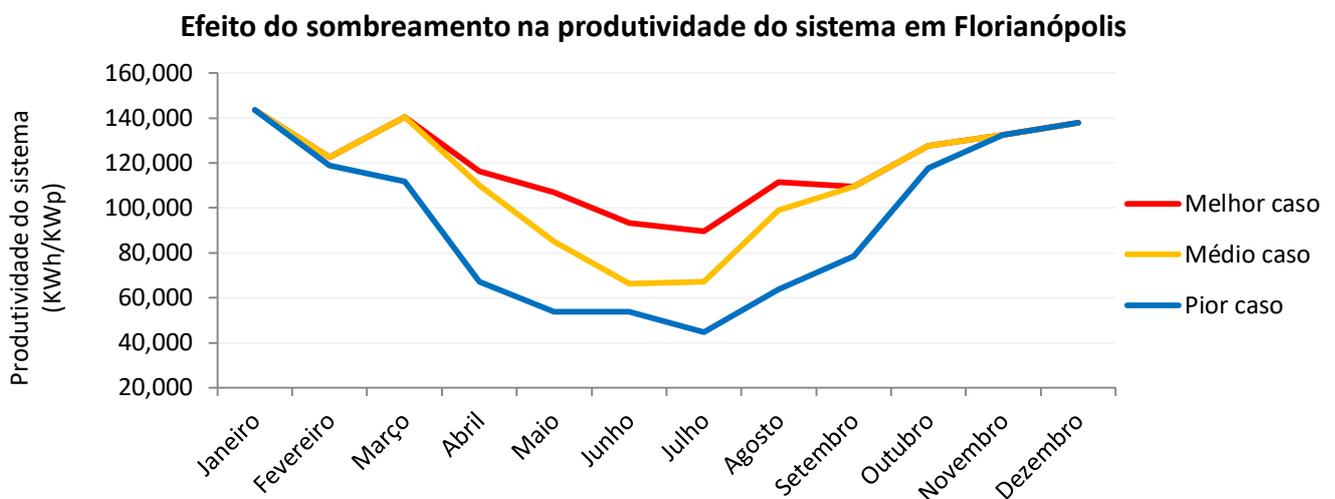


Figura 13 - Efeito do sombreamento na produtividade do sistema (kWh/kWp) em Florianópolis - SC. (Fonte: Da autora).

No pior caso, quando ocorre o sombreamento parcial, foi possível analisar que a  $Y_f$  máxima ocorreu nos meses de Janeiro e Fevereiro, maior que 140 kWh/kWp, enquanto a  $Y_f$  mínima foi de aproximadamente 45 kWh/kWp nos meses de Junho e Julho.

## 4.1.3 Comparação dos resultados

## 4.1.3.1 Produtividade do Sistema Fotovoltaico

Para análise dos resultados, a Tabela 1 apresenta dados de produtividade mensal em kWh/kWp, do sistema fotovoltaico para ambas as cidades, de acordo com os 3 pontos considerados importantes para análise, os pontos de “Melhor Caso”, “Médio Caso” e “Pior Caso”.

Tabela 1 – Comparação da produtividade mensal (kWh/kWp) pelo ponto de análise das cidades de Bom Jesus da Lapa e Florianópolis.

<b>Mês</b>	<b>Ponto de Análise</b>	<b>Bom Jesus da Lapa – BA (kWh/kWp)</b>	<b>Florianópolis – SC (kWh/kWp)</b>
<b>Janeiro</b>	Melhor Caso	134,6	143,7
	Médio Caso	134,6	143,7
	Pior Caso	134,6	143,7
<b>Fevereiro</b>	Melhor Caso	129,7	122,6
	Médio Caso	129,7	122,6
	Pior Caso	125,0	118,8
<b>Março</b>	Melhor Caso	143,6	140,4
	Médio Caso	143,6	140,4
	Pior Caso	115,6	111,7
<b>Abril</b>	Melhor Caso	137,9	116,4
	Médio Caso	130,9	110,1
	Pior Caso	80,3	67,1
<b>Maiο</b>	Melhor Caso	144,0	106,9
	Médio Caso	113,9	84,9
	Pior Caso	68,5	53,7
<b>Junho</b>	Melhor Caso	141,2	93,4
	Médio Caso	97,1	66,3
	Pior Caso	60,1	45,3
<b>Julho</b>	Melhor Caso	150,1	89,6
	Médio Caso	109,7	67,2
	Pior Caso	66,8	44,8
<b>Agosto</b>	Melhor Caso	158,7	111,5
	Médio Caso	138,6	99,1
	Pior Caso	77,7	63,8

Continuação

		Conclusão	
<b>Setembro</b>	Melhor Caso	149,9	109,4
	Médio Caso	149,9	109,4
	Pior Caso	97,7	78,6
<b>Outubro</b>	Melhor Caso	140,9	127,7
	Médio Caso	140,9	127,7
	Pior Caso	127,6	117,6
<b>Novembro</b>	Melhor Caso	122,1	132,6
	Médio Caso	122,1	132,6
	Pior Caso	122,1	132,6
<b>Dezembro</b>	Melhor Caso	123,4	137,9
	Médio Caso	123,4	137,9
	Pior Caso	123,4	137,9

Fonte: Da autora.

Na Tabela 1 percebe-se que a Cidade de Bom Jesus da Lapa possui maior produtividade mensal durante todo o ano, visto que a cidade se localiza no nordeste brasileiro e é a região que apresenta maior irradiação solar conforme Figura 4, exceto os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, e isso pode ser explicado pelo Solstício de Dezembro, no qual o sol está direcionado para o Trópico de Capricórnio, conforme Figura 5, e dessa forma a cidade de Florianópolis recebe maior radiação solar do que Bom Jesus da Lapa, e consequentemente aumenta o desempenho do sistema fotovoltaico.

Para os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, é possível analisar que a produtividade mensal de ambas as cidades não se alteram de acordo com o ponto de análise, ou seja, o obstáculo não ocasiona o sombreamento parcial mesmo no “Pior Caso”. Porém, quando se analisa os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto, nota-se que há maior variação de produtividade entre os pontos de análise, ou seja, ocorrem as maiores perdas devido a altura solar, o ângulo de incidência e pelo sombreamento.

Dessa forma, verifica-se que a localização geográfica afeta significativamente na produtividade do sistema fotovoltaico, como também o ângulo de incidência. A cidade de Bom Jesus da Lapa possui ângulo de incidência menor que Florianópolis, e a sua produtividade variou apenas 23,01 % durante o ano, enquanto Florianópolis teve uma variação de 37,65 %.

As Figuras 13-16 apresentam a variação da produtividade do sistema fotovoltaico em relação à distância e altura do obstáculo estudado, durante os meses de Junho e Julho, para Bom Jesus da Lapa e Florianópolis, respectivamente.

Através das Figuras 13-16, é perceptível pela legenda de cores que os meses de Junho e Julho para a cidade de Bom Jesus da Lapa possuem produtividades bem maiores quando comparado com Florianópolis.

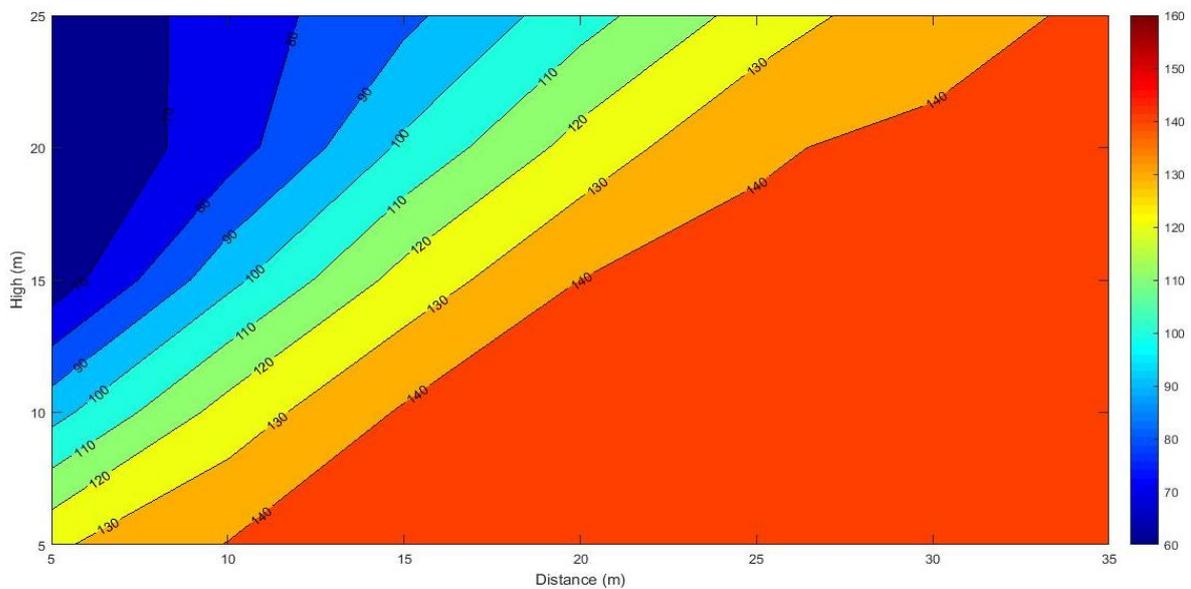


Figura 14 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Da autora).

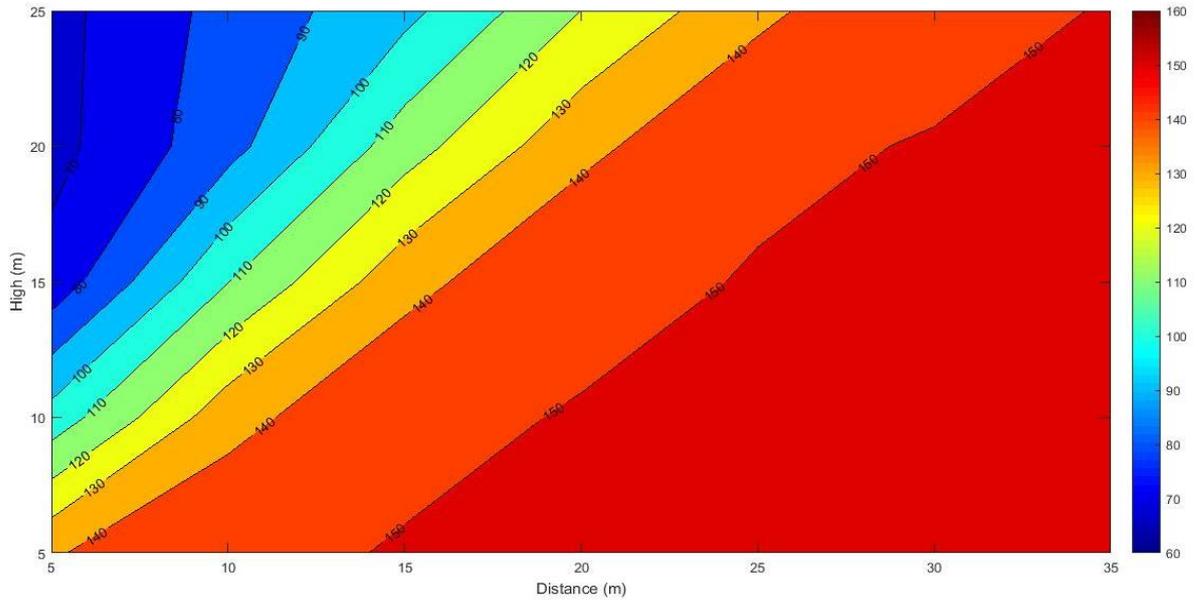


Figura 15 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Bom Jesus da Lapa.  
(Fonte: Da autora).

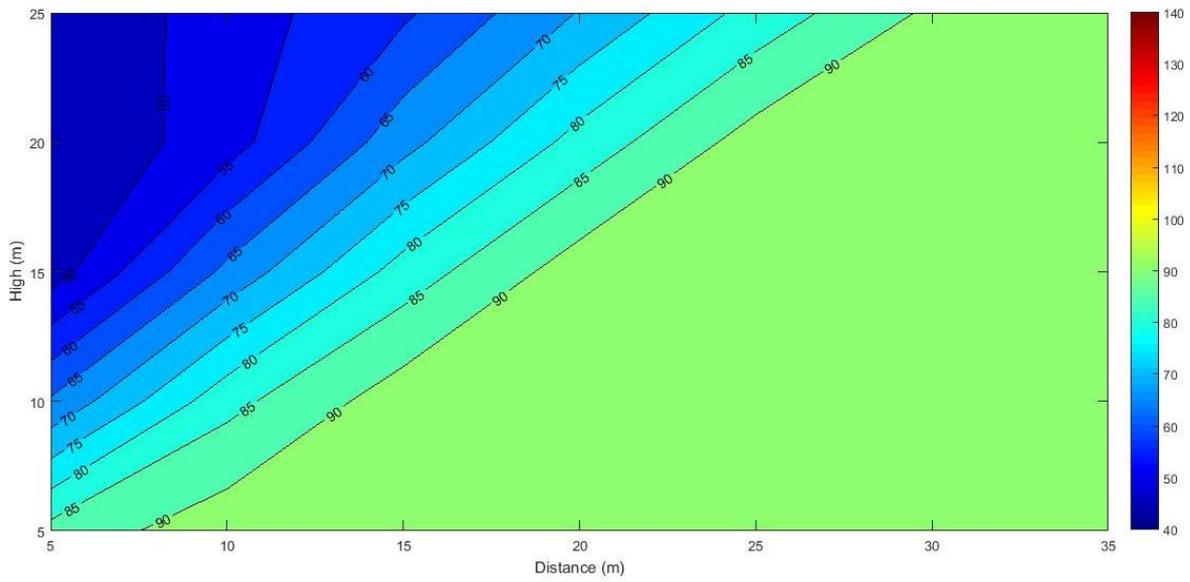


Figura 16 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Florianópolis.  
(Fonte: Da autora).

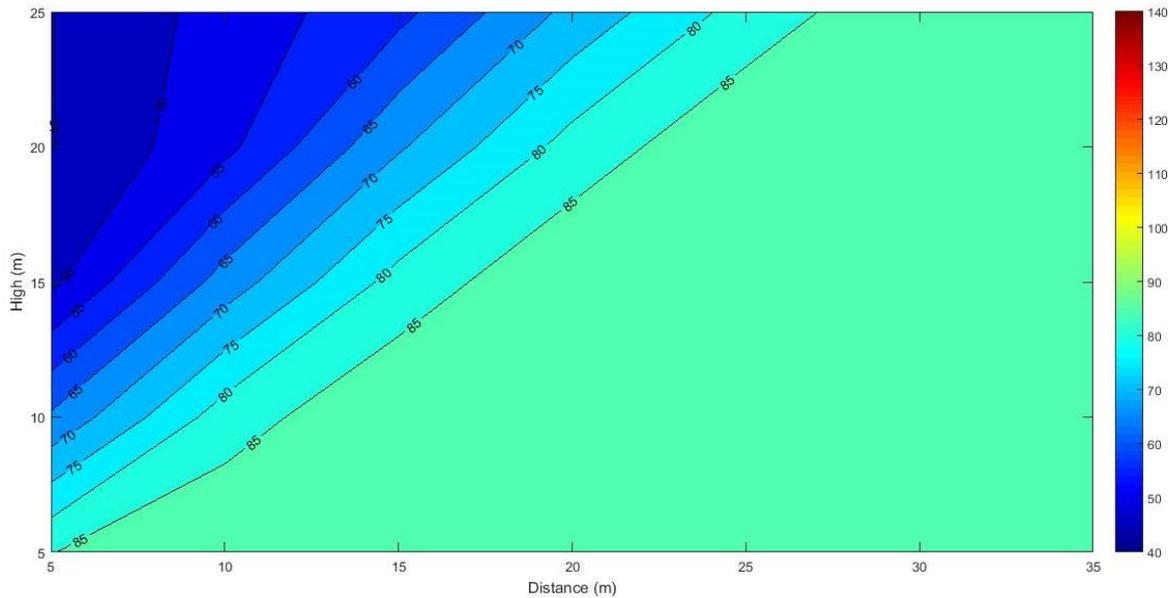


Figura 17 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Florianópolis.

(Fonte: Da autora).

#### 4.1.3.2 Perdas Energéticas

Para analisar as perdas energéticas também foram utilizados os pontos de análise “Melhor Caso”, “Médio Caso” e “Pior Caso” para estes quatro meses e as Tabelas 2 e 3 apresentam as perdas energéticas para cidade de Bom Jesus da Lapa – BA e Florianópolis – SC, respectivamente.

Tabela 2 - Comparação das Perdas energéticas (%) pelo ponto de análise das cidades de Bom Jesus da Lapa e Florianópolis.

Mês	Ponto de Análise	Bom Jesus da Lapa – BA (%)	Florianópolis – SC (%)
<b>Janeiro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	0,0	0,0
<b>Fevereiro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	3,6	3,1
<b>Março</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	19,5	20,4

Continuação

			Conclusão
<b>Abril</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	5,1	5,4
	Pior Caso	41,8	42,3
<b>Mai</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	20,9	20,5
	Pior Caso	52,5	49,8
<b>Junho</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	31,2	29,0
	Pior Caso	57,4	51,4
<b>Julho</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	26,9	25,1
	Pior Caso	55,5	49,9
<b>Agosto</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	12,7	11,1
	Pior Caso	51,1	42,8
<b>Setembro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	34,9	28,1
<b>Outubro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	9,5	7,9
<b>Novembro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	0,0	0,0
<b>Dezembro</b>	Melhor Caso	0,0	0,0
	Médio Caso	0,0	0,0
	Pior Caso	0,0	0,0

Fonte: Da autora.

Conforme visto anteriormente, ambas as cidades possuem suas maiores perdas nos meses de Maio a Agosto, período em que ocorre o Solstício de Junho, emitindo maior radiação solar para o Hemisfério Norte e conseqüentemente menor radiação para o Hemisfério Sul, assim, maior a ocorrência de sombras neste período.

Na tabela 2, percebe-se que para a cidade de Bom Jesus da Lapa, Julho é o mês que ocorreu as maiores perdas energéticas com 55,5%, e para Florianópolis foi o mês de Junho, com 51,4% de perdas por sombreamento.

## 5 CONCLUSÃO

Analisar as características do projeto e local de instalação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída no meio urbano é de grande importância, visto os fatores que podem afetar o seu desempenho e até mesmo inviabilizar sua instalação. Dessa forma, o presente trabalho aborda um destes fatores, sendo ele, o sombreamento ocasionado por um obstáculo sobre um sistema fotovoltaico.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, observou-se como o efeito do sombreamento parcial ocorreu mensalmente, como afetou a produtividade do sistema fotovoltaico e quais foram as perdas energéticas, considerando este localizado nas cidades de Bom Jesus da Lapa-BA e Florianópolis-SC, para comparação dos resultados finais.

Constatou-se que a cidade de Bom Jesus da Lapa possui maior produtividade mensal durante o ano, visto que está localizado na região de maior irradiação solar, quando comparado com Florianópolis, exceto os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, em que ocorre o Solstício de Dezembro, e dessa forma a cidade de Florianópolis recebe maior radiação solar, e conseqüentemente aumenta o desempenho do sistema fotovoltaico. Desse modo, conclui-se que a localização geográfica afeta significativamente na produtividade do sistema fotovoltaico, visto que a produtividade no cenário sem sombreamentos parciais, em Bom Jesus da Lapa variou apenas 23,01 % durante o ano, enquanto Florianópolis teve uma variação de 37,65 %.

Quando analisado as perdas energéticas no “Pior Caso” do cenário com sombreamentos parciais, foi possível perceber que para ambas as cidades, os meses que mais se destacaram foram os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto, período em que ocorre o Solstício de Junho, emitindo maior radiação solar no Hemisfério Norte e conseqüentemente menor radiação solar no Hemisfério Sul, e assim, maior a ocorrência de sombras neste período. Bom Jesus da Lapa apresentou perdas de até 55,5 % nestes meses, enquanto Florianópolis apresentou perdas de até 51,4 %.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se para trabalhos futuros, a realização de análises e simulações para sistemas fotovoltaicos de geração distribuída direcionada para outros sentidos geográficos, visto que esse trabalho foi estudado apenas para o norte geográfico. A alteração de sentido poderá afetar os valores obtidos. Também se sugere fazer análises e simulações com considerações econômicas.

Outra sugestão seria alterar o tipo ou formato de obstáculo, como postes de energia, fios de transmissão da rede elétrica ou até mesmo vegetação, como árvores, que podem ocasionar sombreamento sobre o sistema fotovoltaico de geração distribuída.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Brasil). **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil - Infográfico ABSOLAR**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482 de 17 de Abril de 2012**. 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Unidades consumidoras com geração distribuída**. Disponível em: <<http://aneel.gov.br/scg/gd>>. Acesso em: 05 Nov. 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída – regulamentação atual e processo de revisão**. Brasília, fev. 2019

BASTIAN, A. **Reflexão sobre os parâmetros urbanísticos de salvador e o uso de energia solar fotovoltaica**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-10, abr. 2018.

CHEPP, E. D.; KRENZINGER, .A. **Estudo comparativo do uso de inversos *string* e micro inversores na geração de energia elétrica de uma instalação fotovoltaica com sombreamento parcial**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-8, abr. 2018.

CHEPP, E. D. **Metodologia para análise de perdas por sombreamento em instalações fotovoltaicas**. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=331](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331)>. Acesso em: 16 Nov. 2019

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 3 ed. John Wiley & Sons (ed.). 2016.

EUROPAN COMISSION. **Photovoltaic geographical information system**. Disponível em: < [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html)>. Acesso em: 06 Nov. 2019.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F.; **Usos finais e energia elétrica no setor residencial brasileiro**. 2009. 104f. Relatório de Iniciação Científica. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LOPES, R. J. C. **Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos**. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia Eletrotécnica. Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 2013.

MACHADO, A. B.; RAMPINELLI, G. A. **Avaliação de métodos probabilísticos para preenchimento de lacunas de dados solarimétricos e previsão da irradiância solar de curto prazo**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-8, abr. 2018.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: Situações e perspectivas**. Consultoria Legislativa. 2017. 46 p.

PEROZA, J.; RAMPINELLI, G. A. **Análise de desempenho e atuação de diodos de by-pass em um módulo fotovoltaico comercial**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-10, abr. 2018.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPTEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

RODRIGUES M. J. S.; TELES, M. B.; SANTOS D. C.; MACÊDO, W. N. **Resultados experimentais de sombreamento parcial em módulos fotovoltaicos.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-10, abr. 2018.

RUSCHEL, C. S.; KRENZINGER, A. **Efeito de sombreamentos no desempenho de uma usina solar fotovoltaica.** Revista Brasileira de Energia Solar, v. 8, n. 1, p.18-25, jul. 2017.

SARAIVA, M. F. O.; FILHO, K. S.; MULLER, A. M.; **Aula 03: Movimento anual do sol e estações do ano.** Fundamentos de Astronomia e Astrofísica para EAD. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/faad.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2019

SOLAR FINGER. **Radiação Solar no Brasil.** Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/radiacao-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 28 abr.2019

SOLARGIS. **2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis.** Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/>>. Acesso em: 28 abr. 2019

SOUZA, D. V.; TAPIA, G. I. M. **Análise do sombreamento entre painéis fotovoltaicos.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-8, abr. 2018.

ZOMER, C. D. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações.** 2014. 258 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ZOMER, C. D; RÜTHER R. **Curvatura e sombreamento em geradores fotovoltaicos: desafios para a integração arquitetônica na região tropical.** Revista Brasileira de Energia Solar, v. 5, n. 2, p. 92-100, dez. 2014.

ZOMER, C. D; RÜTHER R. **Aplicação e avaliação do método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, p. 1-9, abr. 2018.

## APÊNDICE 1

Neste apêndice serão apresentadas todas as figuras criadas pela autora, através da ferramenta MATLAB, que mostra a relação da Produtividade do Sistema ( $Y_f$ ) com a altura e distância do obstáculo de sombreamento, por mês, para cidade de Bom Jesus da Lapa – BA exceto para os meses de Janeiro, Novembro e Dezembro, em que não houve variação de produtividade do sistema fotovoltaico, e assim não foi possível criar os gráficos através do MATLAB.

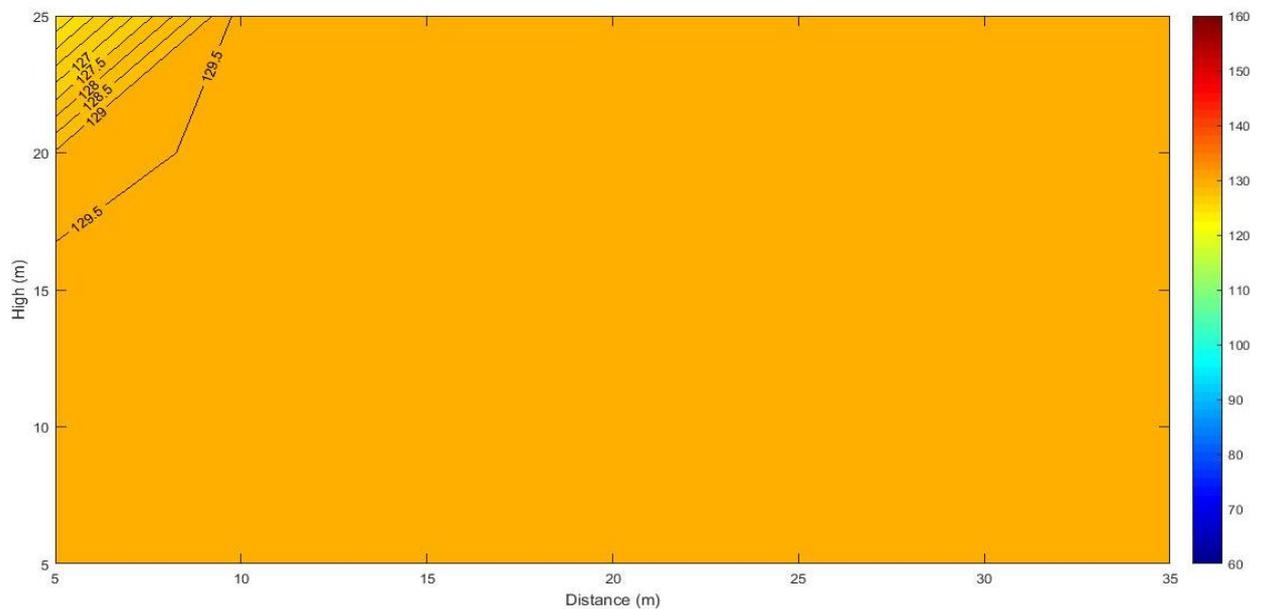


Figura 18 - Produtividade do sistema para o mês de Fevereiro, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Autora).

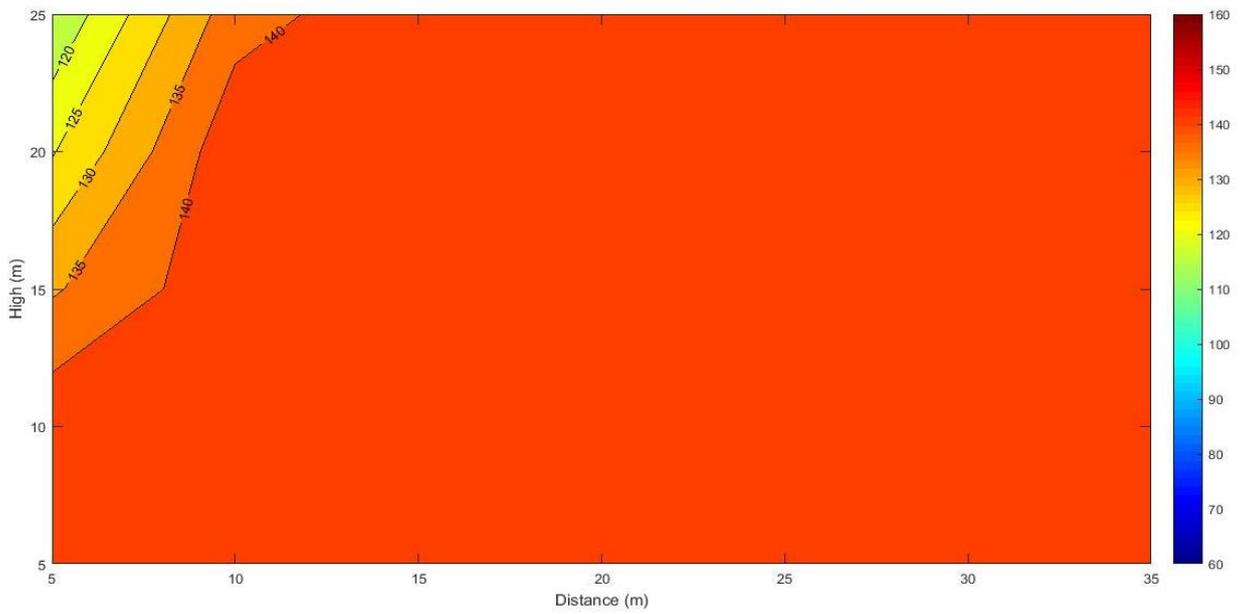


Figura 19 - Produtividade do sistema para o mês de Março, em Bom Jesus da Lapa.  
(Fonte: Autora).

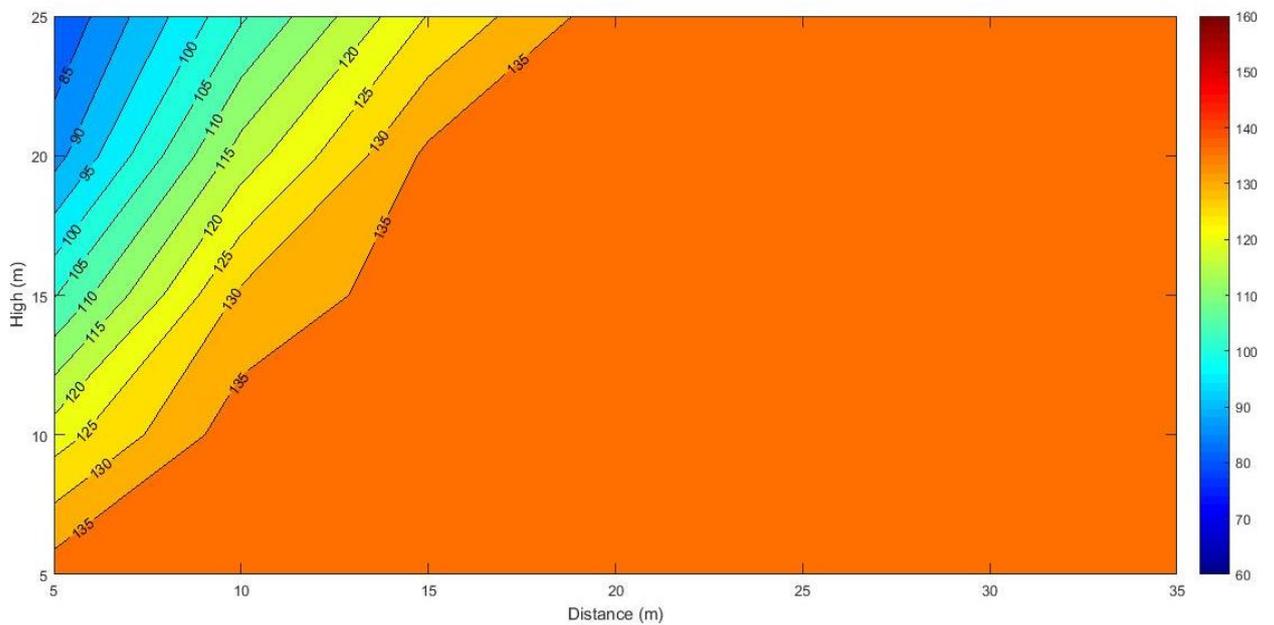


Figura 20 - Produtividade do sistema para o mês de Abril, em Bom Jesus da Lapa.  
(Fonte: Autora).

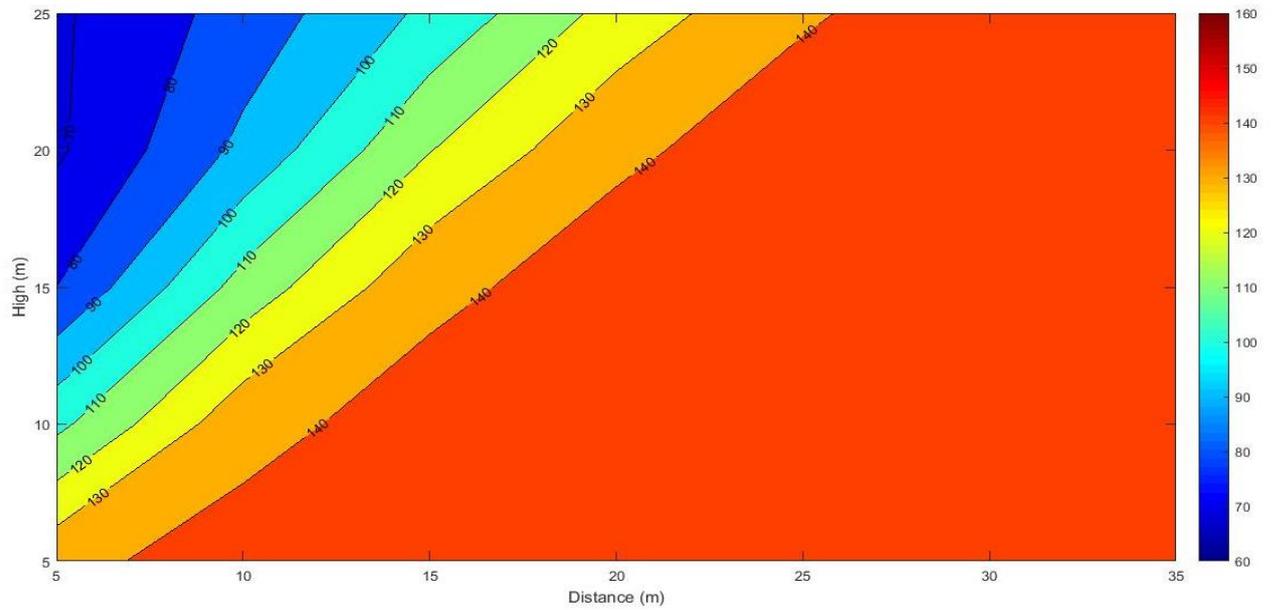


Figura 21 - Produtividade do sistema para o mês de Maio, em Bom Jesus da Lapa.  
(Fonte: Autora).

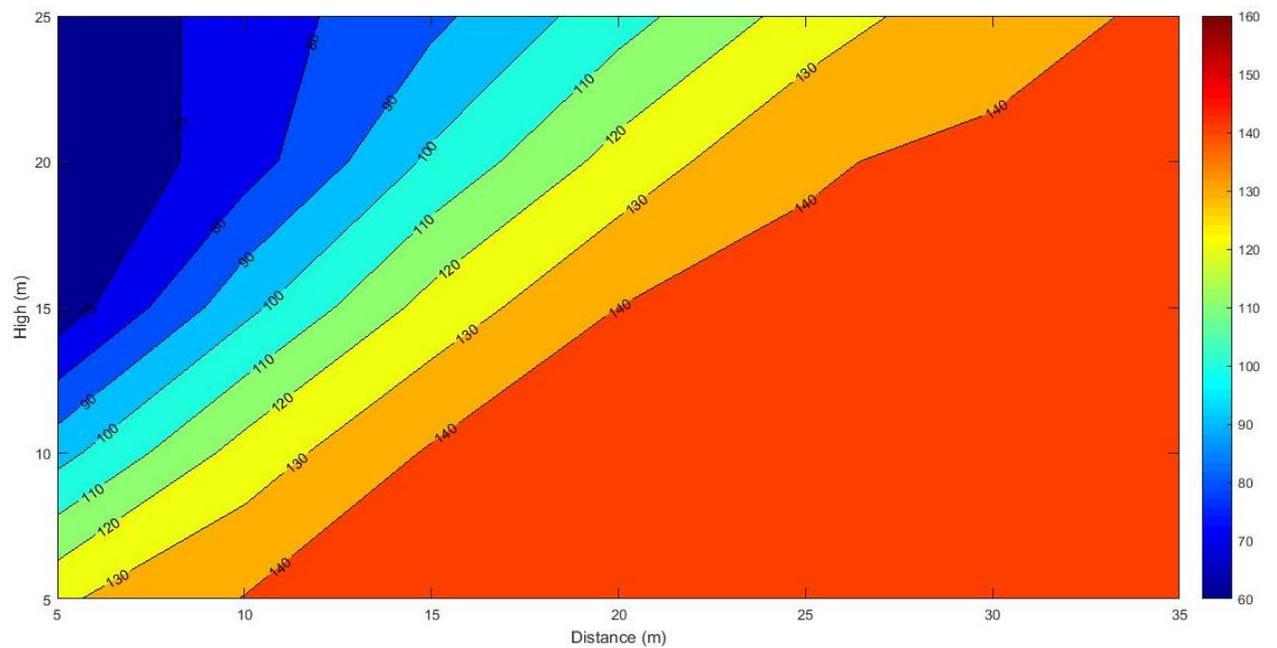


Figura 22 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Bom Jesus da Lapa.  
(Fonte: Autora).

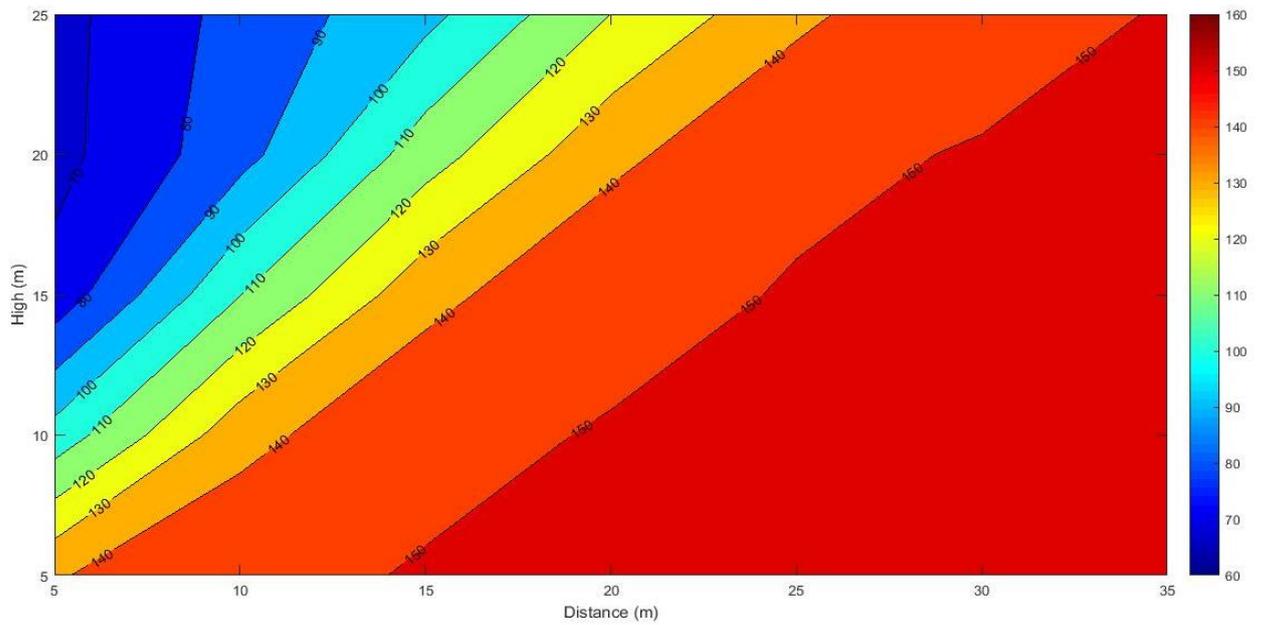


Figura 23 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Autora).

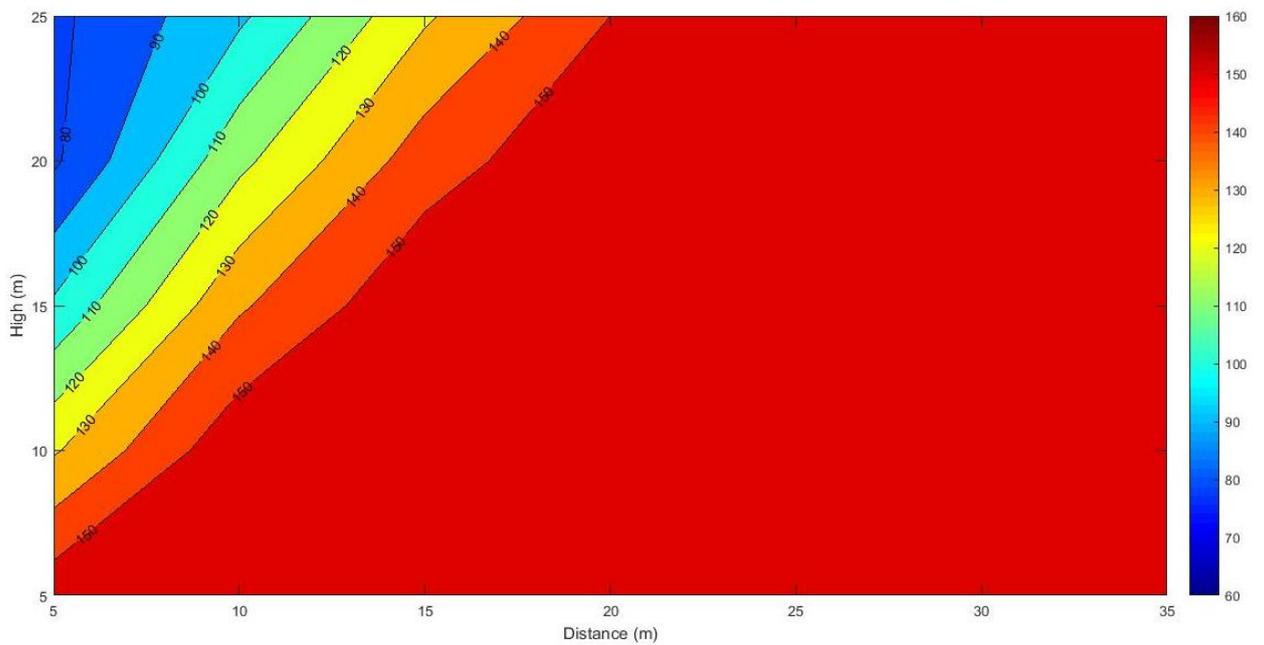


Figura 24 - Produtividade do sistema para o mês de Agosto, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Autora).

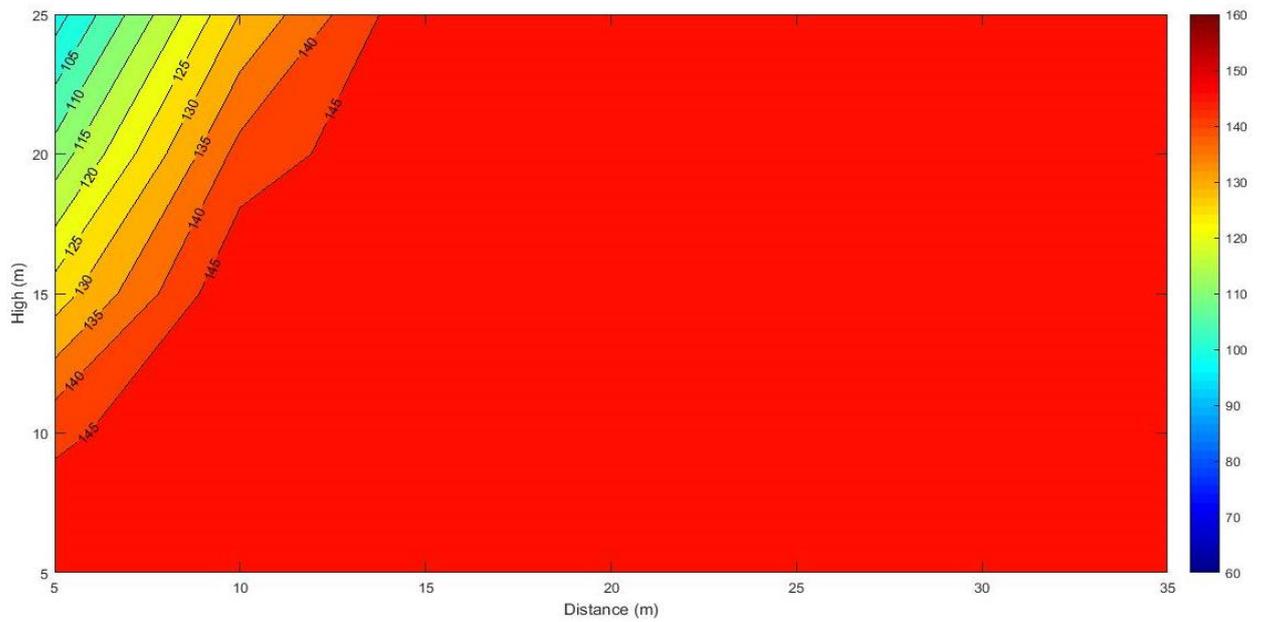


Figura 25 - Produtividade do sistema para o mês de Setembro, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Autora).

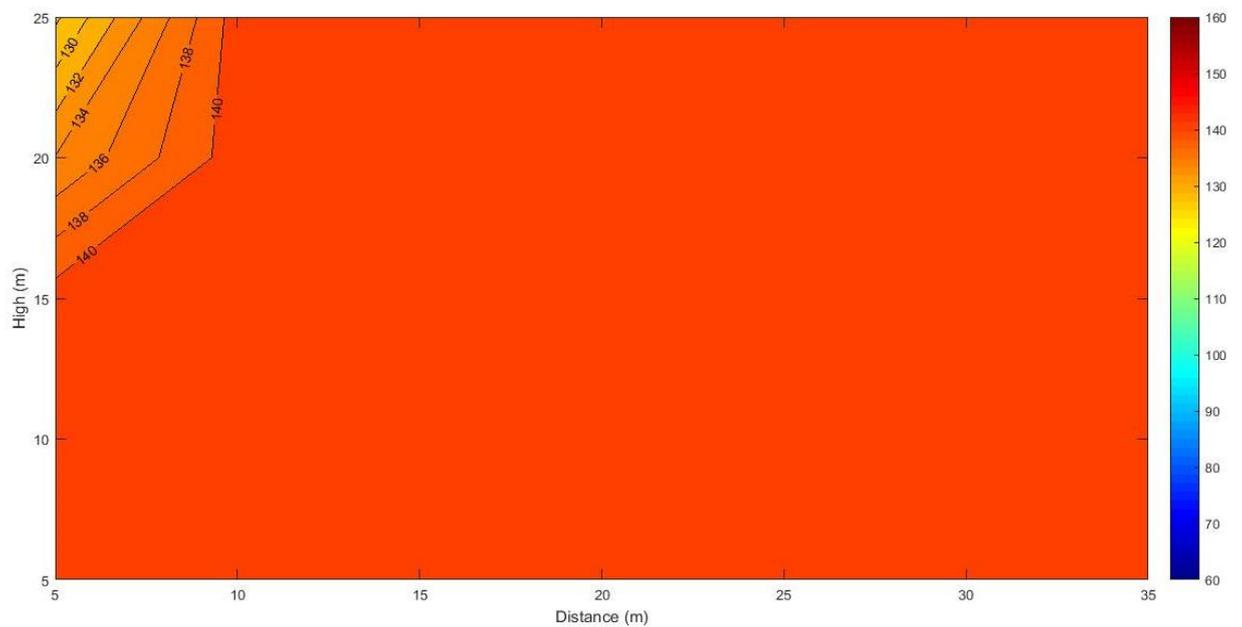


Figura 26 - Produtividade do sistema para o mês de Outubro, em Bom Jesus da Lapa.

(Fonte: Autora).

## APÊNDICE 2

Neste apêndice serão apresentadas todas as figuras criadas pela autora, através da ferramenta MATLAB, que mostra a relação da Produtividade do Sistema ( $Y_f$ ) com a altura e distância do obstáculo de sombreamento, por mês, para cidade de Florianópolis – SC, exceto para os meses de Janeiro, Novembro e Dezembro, em que não houve variação de produtividade do sistema fotovoltaico, e assim não foi possível criar os gráficos através do MATLAB.

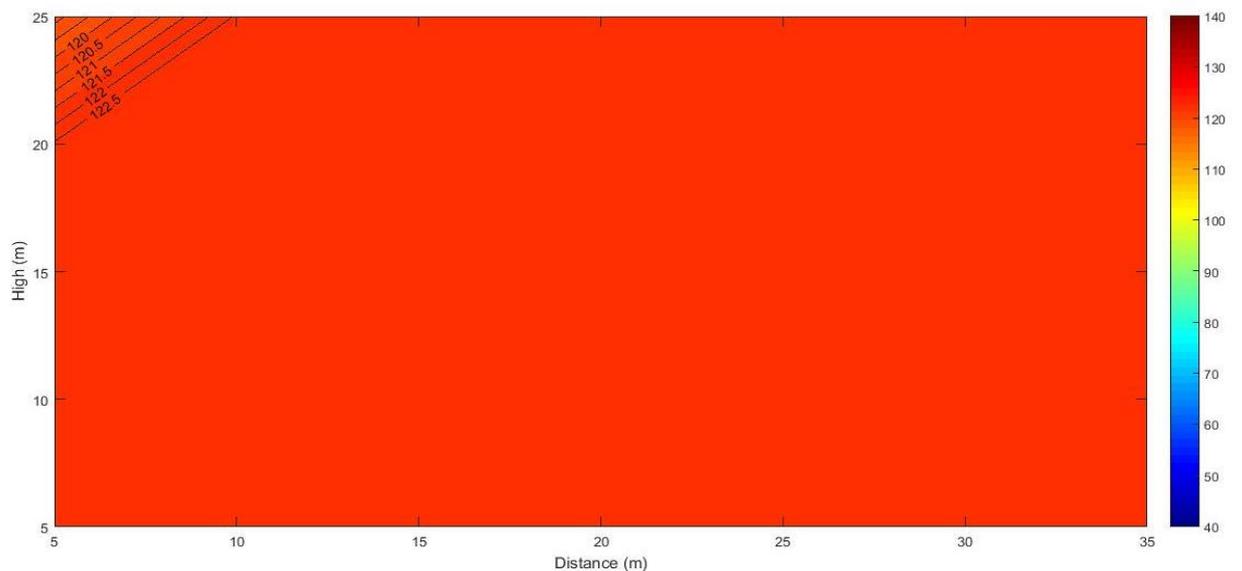


Figura 27 - Produtividade do sistema para o mês de Fevereiro, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

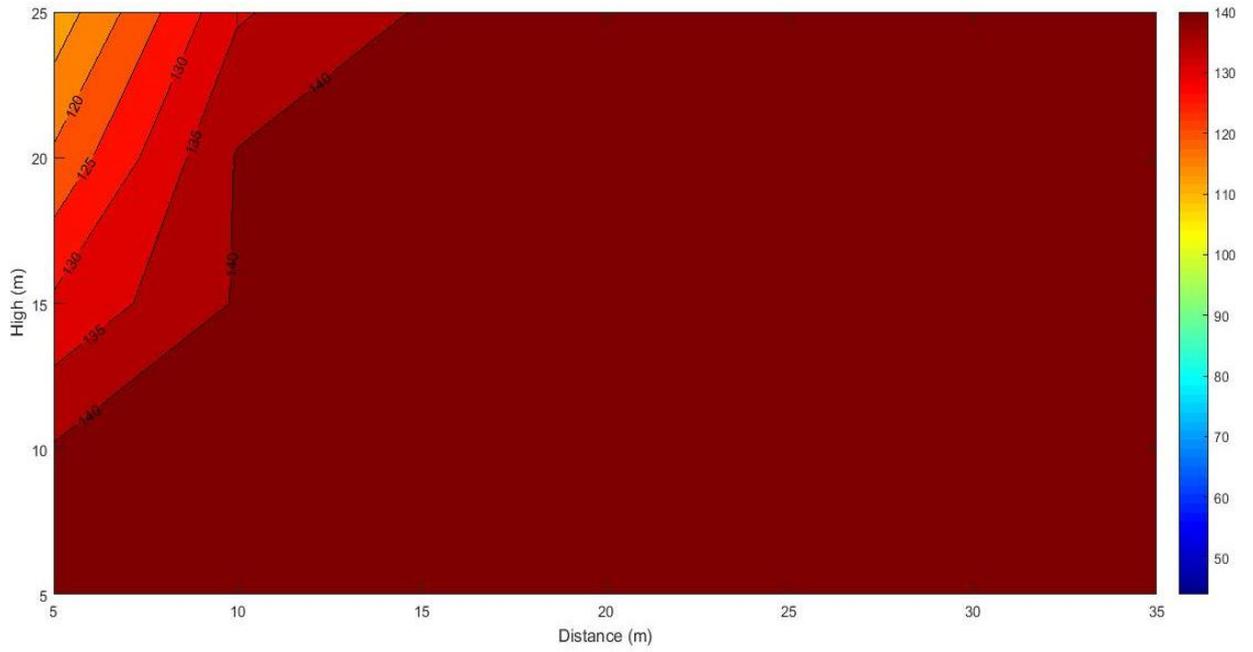


Figura 28 - Produtividade do sistema para o mês de Março, em Florianópolis.  
(Fonte: Autora).

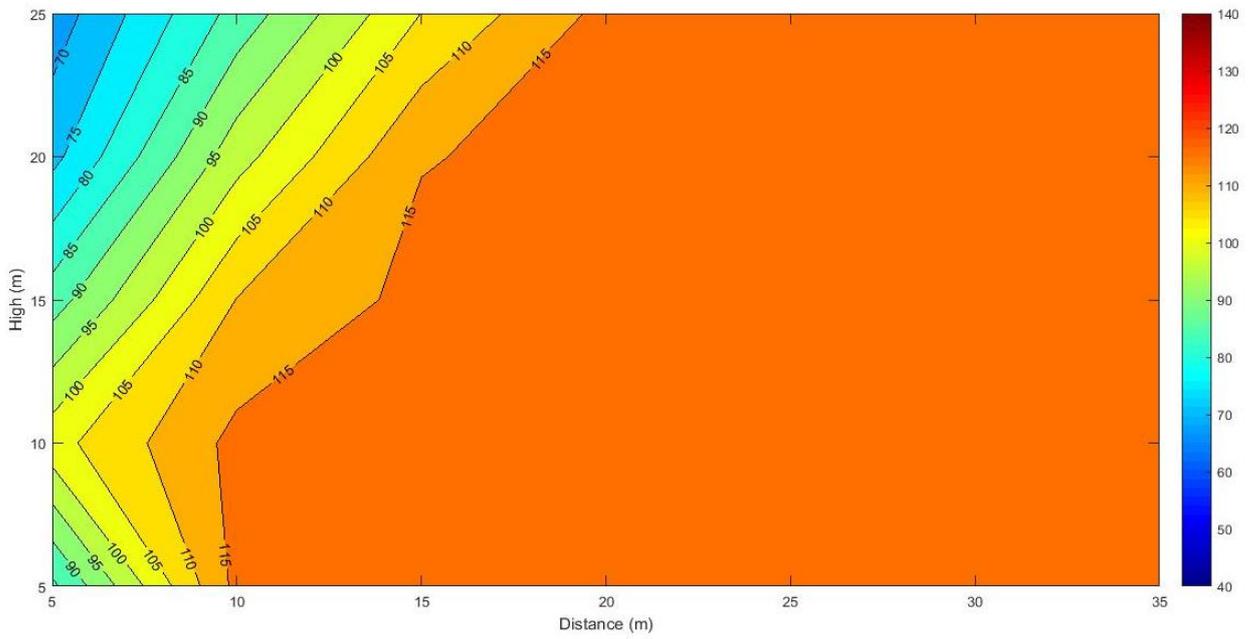


Figura 29 - Produtividade do sistema para o mês de Abril, em Florianópolis.  
(Fonte: Autora).

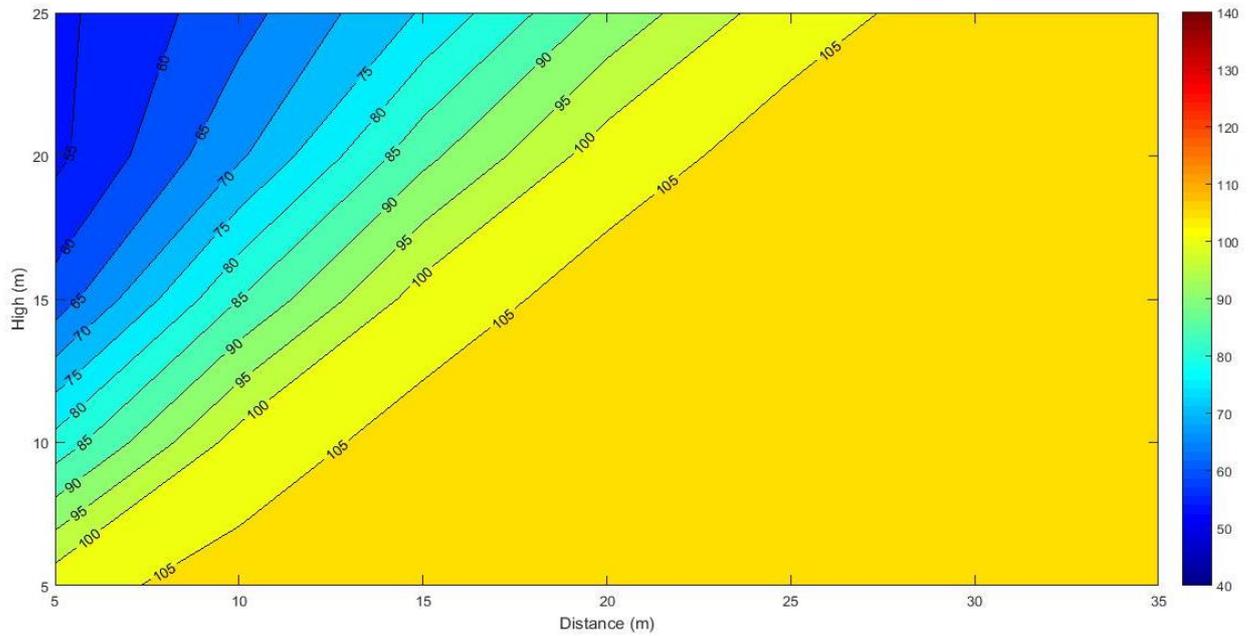


Figura 30 - Produtividade do sistema para o mês de Maio, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

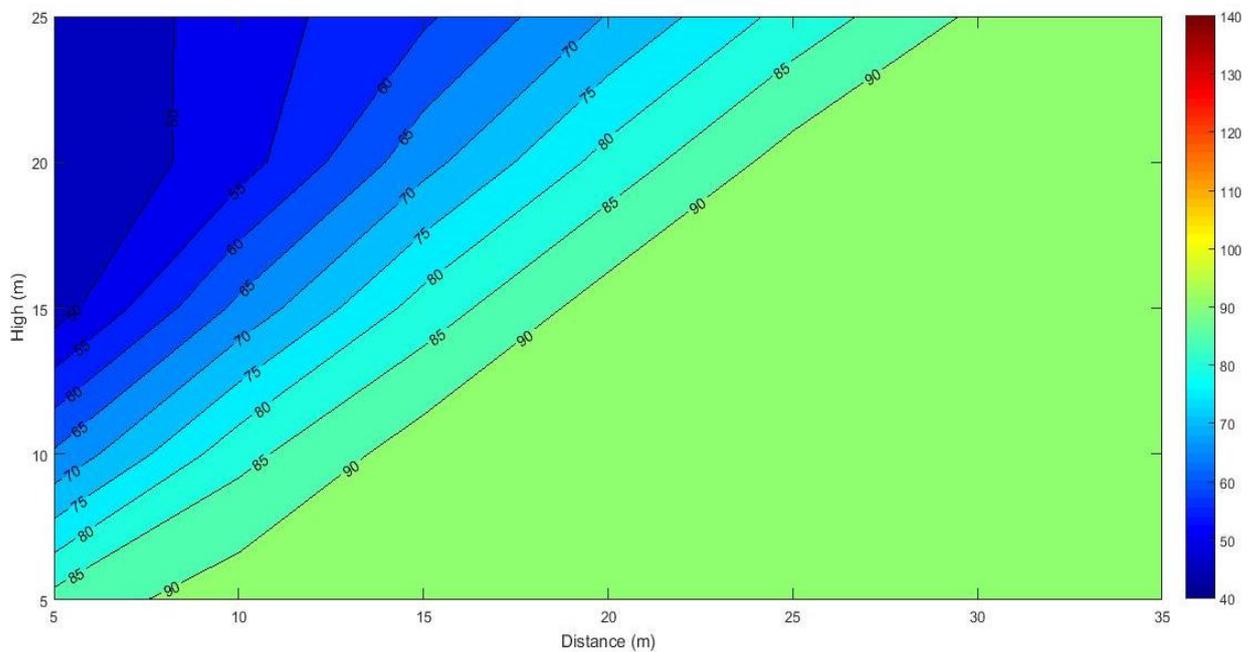


Figura 31 - Produtividade do sistema para o mês de Junho, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

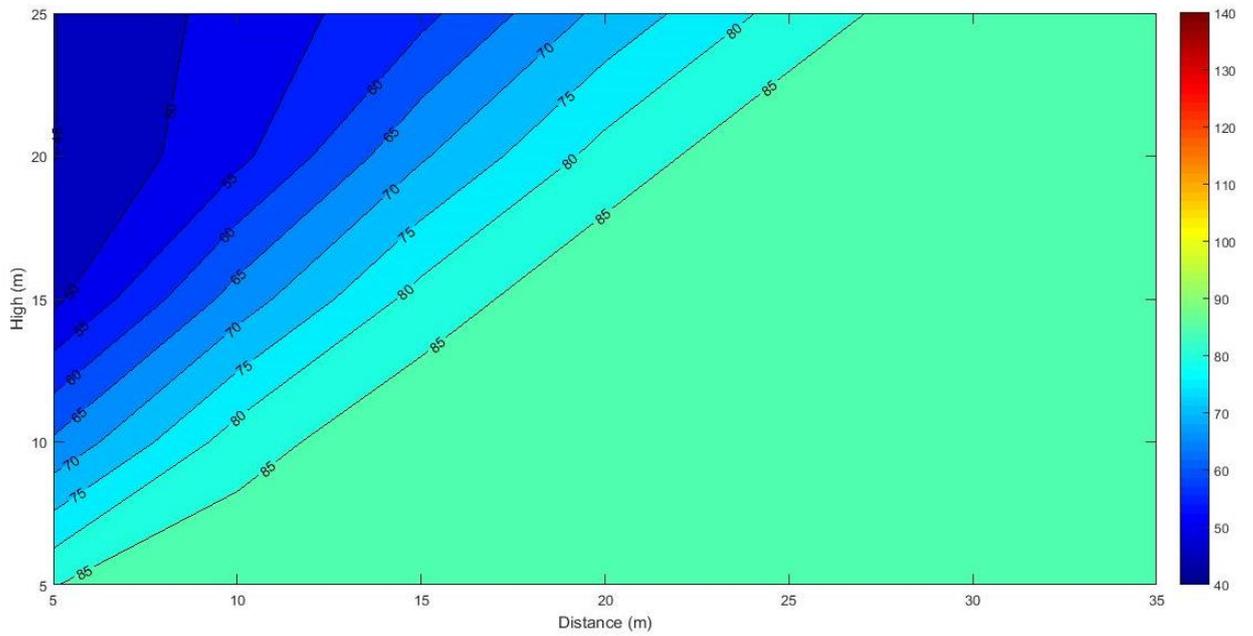


Figura 32 - Produtividade do sistema para o mês de Julho, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

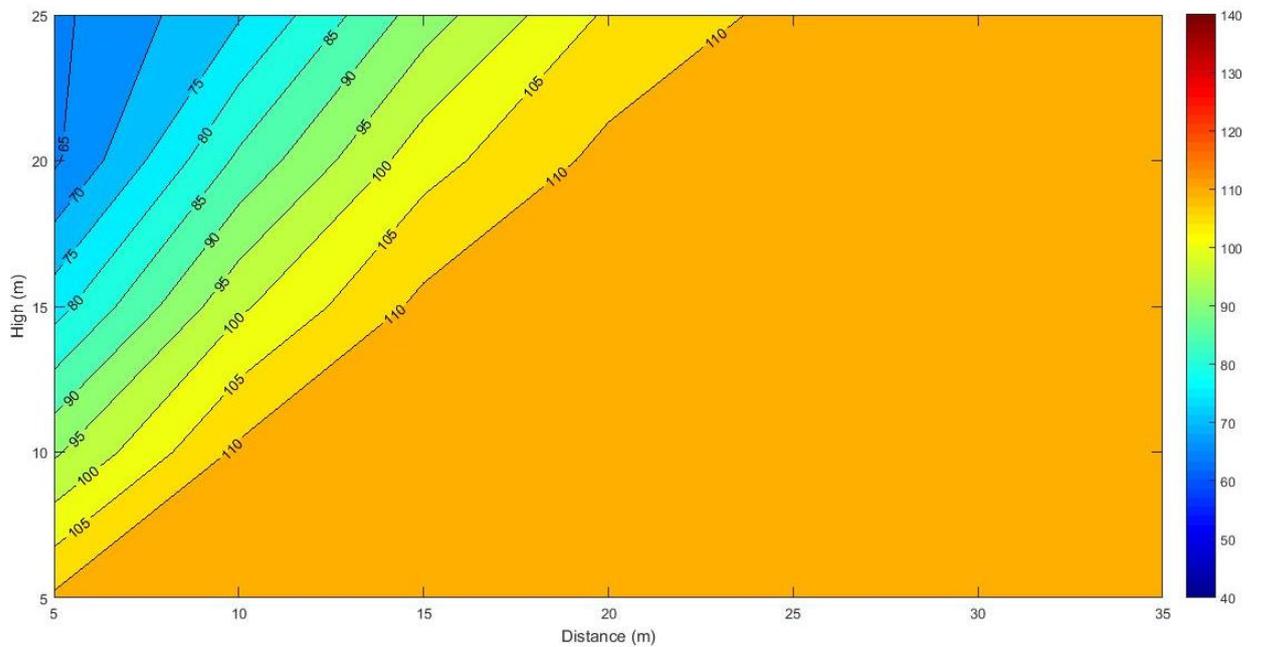


Figura 33 - Produtividade do sistema para o mês de Agosto, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

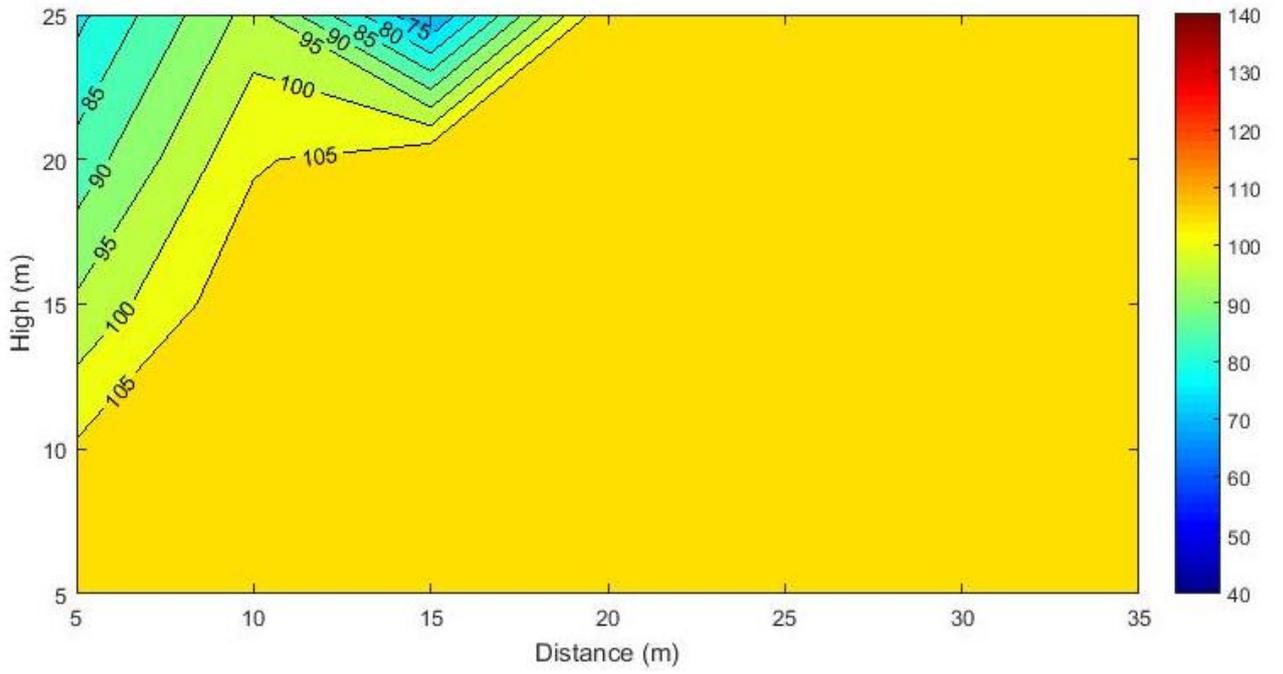


Figura 34 - Produtividade do sistema para o mês de Setembro, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

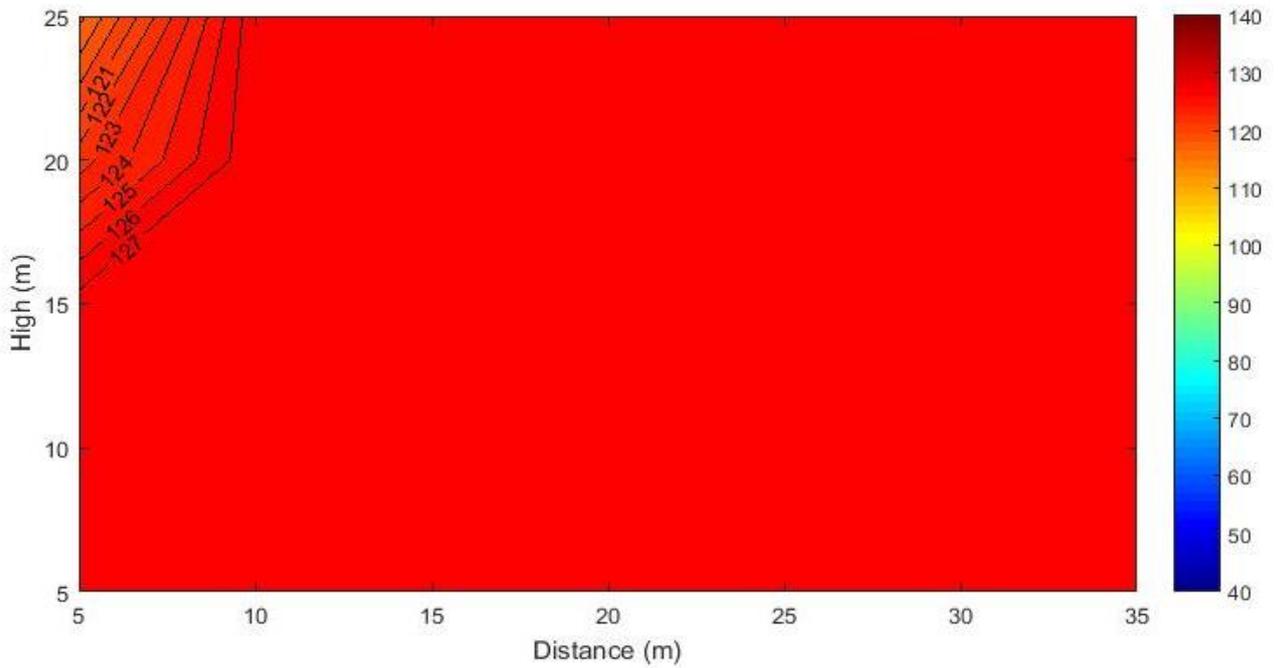


Figura 35 - Produtividade do sistema para o mês de Outubro, em Florianópolis.

(Fonte: Autora).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, saúde e força para superar as dificuldades, e por todas as possibilidades e oportunidades para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À minha família, em especial aos meus pais Jorge e Cecília, e meus irmãos Karoline e Agenor, pelo apoio incondicional, incentivo e orações, e por não medirem esforços em tornar possível a minha graduação.

Ao meu namorado Felipe, por todo amor, carinho e companheirismo em todos os momentos deste ano.

Aos meus colegas de graduação: Djéssica, Hanna, Israel, Júlia e Pâmela, por fazerem deste caminho muito mais leve, feliz e especial.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino, por todo conhecimento proporcionado, e também aos meus professores, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli, por compartilhar seu conhecimento e ter me orientado pacientemente neste trabalho.