

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO – FAED
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL E
DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL – PPGPLAN**

GUILHERME BRAGHIROLI

**Quantificação de Perdas na Geração de Energia Solar Causadas pelo
Sombreamento de Edificações Adjacentes**

**FLORIANÓPOLIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Braghirolli, Guilherme

Quantificação de perdas na geração de energia solar
causadas pelo sombreamento de edificações adjacentes /
Guilherme Braghirolli. -- 2025.
146 p.

Orientador: Francisco Henrique de Oliveira
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação,
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e
Desenvolvimento Socioambiental, Florianópolis, 2025.

1. Energia solar. 2. Sombreamento urbano. 3. Justiça
espacial. I. Oliveira, Francisco Henrique de. II. Universidade
do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e
da Educação, Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Territorial e Desenvolvimento Socioambiental. III. Título.

GUILHERME BRAGHIROLI

**Quantificação de Perdas na Geração de Energia Solar Causadas pelo
Sombreamento de Edificações Adjacentes**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental – Doutorado da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor, sob orientação do Professor Dr. Francisco Henrique de Oliveira

FLORIANÓPOLIS

2025

GUILHERME BRAGHIROLI

**Quantificação de Perdas na Geração de Energia Solar Causadas pelo
Sombreamento de Edificações Adjacentes**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental – Doutorado da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor, sob orientação do Professor Dr. Francisco Henrique de Oliveira

BANCA EXAMINADORA

Orientador Dr. Francisco Henrique de Oliveira
UDESC/PPGPlan

Membros:

Dr. Adolfo Lino de Araújo
IFSC – Instituto Federal de Santa
Catarina

Dra. Ana Clara Mourão Moura
UFMG – Universidade Federal de Minas
Gerais

Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro
UFPE – Universidade Federal de
Pernambuco

Dr. Renan Furlan
UFSC – Universidade Federal de Santa
Catarina

Florianópolis, 18 de Julho de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Francisco Henrique de Oliveira pela orientação dedicada, pela paciência ao longo da jornada e pelas valiosas conversas e oportunidades proporcionadas.

Aos meus pais, Olmar e Ivete, sou profundamente grato por sempre garantirem as melhores oportunidades e pelo apoio constante em todas as etapas da minha formação.

Agradeço aos professores Adolfo Lino de Araujo, Jairo Valdatti, Ana Clara Mourão Moura, Andrea Flavia Tenório Carneiro, Renan Furlan e Guilherme Linheira, pelas contribuições, sugestões e tempo dedicado à banca de qualificação e defesa.

À Maria Carolina Soares, minha companheira, agradeço a paciência, incentivo e apoio incondicional durante toda a trajetória deste trabalho.

Aos amigos Pedro Puttini e Paula Justen, que a vida acadêmica me trouxe e que levarei para além dela, deixo minha gratidão pela amizade e parceria sincera.

A todos os colegas do Geolab, agradeço pelas risadas, pelo convívio diário e pelas conversas que tornaram a jornada mais leve e enriquecedora.

Aos colegas que tive o prazer de conhecer na Universidade de Twente – Bedru, Mehmet, Ignacio, Bekir, Livia, Amanda, Flávia, Petra, André e Mila –, minha gratidão pela convivência e troca de experiências durante esse período especial.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina por conceder os meios para que eu pudesse dedicar o tempo necessário para a realização da pesquisa.

Aos colegas, professores dos Cursos Técnicos de Agrimensura e Geoprocessamento pelas discussões e conversas enriquecedoras que com certeza contribuíram muito no direcionamento do trabalho.

À FAPESC, agradeço pelo apoio à mobilidade acadêmica, que me permitiu vivenciar uma experiência internacional transformadora durante o doutorado.

RESUMO

A intensificação do adensamento urbano e o consequente processo de verticalização nas cidades têm ampliado os conflitos relacionados ao acesso à radiação solar, especialmente em áreas densamente construídas. Nesse contexto, a presente tese propõe uma metodologia para quantificar as perdas na geração de energia solar decorrentes do sombreamento causado pela construção de novas edificações. A pesquisa busca oferecer subsídios técnicos para o aprimoramento de instrumentos urbanísticos como o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), além de contribuir para políticas de compensação urbanística e justiça espacial. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura com análise bibliométrica, utilizando as bases *Scopus* e *Web of Science*, resultando na seleção de 500 artigos científicos diretamente relacionados aos temas centrais da pesquisa. Com base nesse referencial teórico, definiu-se o fluxo metodológico da tese, testado em uma área urbana localizada no município de Florianópolis, Santa Catarina. A etapa prática do estudo compreendeu o levantamento aerofotogramétrico com UAS para a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS), e vetorização das edificações e módulos fotovoltaicos. Foi implementado um sistema automatizado de cálculo da perda do potencial solar utilizando a ferramenta *Raster Solar Radiation*, previamente calibrada com dados históricos da estação meteorológica A806 (INMET), assegurando a correspondência entre os dados simulados e os registros reais. A partir das simulações, foi possível quantificar a redução da radiação solar incidente em diferentes parcelas impactadas por uma edificação construída posteriormente. Com esses dados, estimou-se a perda de energia anual em sistemas fotovoltaicos hipotéticos nas condições com e sem sombreamento. A comparação entre os valores calculados pelo método proposto e os estimados pelo software de referência demonstrou forte correlação, validando a eficácia da metodologia. Além da abordagem técnica, a tese discute experiências internacionais de regulamentação do direito solar e compensações por perdas de radiação, especialmente nos Estados Unidos, Reino Unido e Japão. No Brasil, apesar de existirem normas que tratam da iluminação natural nos ambientes internos e nos códigos de obras, ainda é incipiente a regulamentação que considera o acesso à radiação solar como direito urbano associado à eficiência energética. Os resultados apontam que o método desenvolvido é replicável, adaptável a diferentes contextos urbanos e pode ser incorporado como ferramenta técnica em processos de licenciamento urbano. Também abre caminho para políticas de compensação baseadas em métricas reais, com potencial de fortalecer a justiça espacial e promover uma urbanização mais sustentável. O reconhecimento do sol como recurso ambiental limitado, sobretudo em áreas adensadas, é essencial para a construção de cidades resilientes e energeticamente eficientes.

ABSTRACT

The intensification of urban densification and the consequent process of verticalization in cities have increased conflicts related to solar radiation, especially in densely built-up areas. In this context, the present thesis proposes a methodology to quantify the losses in solar energy generation resulting from shading caused by the construction of new buildings. The research aims to provide technical support for improving urban planning instruments such as the Neighborhood Impact Study (*Estudo de Impacto de Vizinhança – EIV*), in addition to contributing to urban compensation policies and spatial justice. Initially, a systematic literature review with bibliometric analysis was carried out using the Scopus and Web of Science databases, resulting in the selection of 500 scientific articles directly related to the core topics of the research. Based on this theoretical framework, the methodological workflow of the thesis was defined and tested in an urban area located in the municipality of Florianópolis, Santa Catarina. The practical stage of the study included aerial photogrammetric surveying using drones to generate the Digital Surface Model (DSM), along with the vectorization of buildings and photovoltaic modules. An automated system for calculating the loss of solar potential was implemented using the Raster Solar Radiation tool, previously calibrated with historical data from the meteorological station A806 (INMET), ensuring consistency between the simulated data and the real measurements. Based on the simulations, it was possible to quantify the reduction in incident solar radiation on different land parcels impacted by a subsequently constructed building. From this data, the annual energy loss in hypothetical photovoltaic systems under shaded and unshaded conditions was estimated. The comparison between the values calculated using the proposed method and those estimated by reference software demonstrated a strong correlation, validating the effectiveness of the methodology. In addition to the technical approach, the thesis discusses international experiences regarding the regulation of solar rights and compensation for radiation losses, particularly in the United States, the United Kingdom, and Japan. In Brazil, although there are regulations addressing natural lighting in indoor environments and within building codes, the regulation that considers access to solar radiation as an urban right associated with energy efficiency is still incipient. The results indicate that the developed method is replicable, adaptable to different urban contexts, and can be incorporated as a technical tool in urban licensing processes. It also paves the way for compensation policies based on real metrics, with the potential to strengthen spatial justice and promote more sustainable urban development. Recognizing the sun as a limited environmental resource, especially in densely populated areas, is essential for building resilient and energy-efficient cities.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 - Infográfico que demonstra a distribuição da matriz energética Brasileira. Atualizado em abril de 2025.</u>	<u>16</u>
<u>Figura 2 - Infográfico mostrando o ranking dos 10 estados com maior potência instalada de geração de energia solar no Brasil.</u>	<u>17</u>
<u>Figura 3 - Simulação da sombra projetada sobre painéis solares. Simulação realizada no software SketchUp.</u>	<u>18</u>
<u>Figura 4 - Gráfico aluvial ou diagrama de Sankey, demonstrando os filtros realizados durante a pesquisa sistemática. Gráfico desenvolvido no software RawGraphs2.0.....</u>	<u>25</u>
<u>Figura 5 - Nuvem de Palavras contendo as 50 palavras mais frequentes presentes nos 500 artigos selecionados. Gerada pelo software Bibliometrix.</u>	<u>29</u>
<u>Figura 6 - Nuvem de palavras com conexões e ocorrência anual. Gerada pelo software VOSViewer.....</u>	<u>31</u>
<u>Figura 7 - Simulação do Envelope Solar em um conjunto teste de imóveis.....</u>	<u>35</u>
<u>Figura 8 - Representação dos diferentes LOD (Níveis de Detalhe) na representação virtual de uma mesma edificação do mundo real.....</u>	<u>39</u>
<u>Figura 9 - Cálculo de Sombra para 5 diferentes edificações. No topo as edificações originais e abaixo as edificações com componentes simplificados.....</u>	<u>41</u>
<u>Figura 10 - Comparação entre o algoritmo Polyfit e outros algoritmos para geração 3D de objetos.....</u>	<u>42</u>
<u>Figura 11 - Fluxograma do Método Utilizado no Desenvolvimento da Pesquisa.</u>	<u>55</u>
<u>Figura 12 - Localização da Área de Estudo</u>	<u>56</u>
<u>Figura 13 – Gráfico ilustrativo do <i>Model Builder</i> responsável por gerar o polígono da área afetada. O algoritmo completo está disponível no item APÊNDICE A.</u>	<u>59</u>
<u>Figura 14 - Mapa mostrando a parcela a ser estudada e a área possivelmente afetada pela sombra gerada.....</u>	<u>60</u>
<u>Figura 15 - Recortes de tela do aplicativo <i>Drone Deploy</i> mostrando o planejamento dos três voos realizados.</u>	<u>62</u>
<u>Figura 16 - Recorte de tela do software <i>Agisoft Metashape</i> demonstrando o modelo tridimensional gerado e a posição de algumas das imagens obtidas nos voos.</u>	<u>63</u>

Figura 17 - Recorte de tela do software <i>Agisoft Metashape</i> mostrando o Modelo de Superfície (MDS) (a esquerda) e a Ortofoto (a direita) obtidos a partir do aerolevanteamento.	64
Figura 18 - Mapa mostrando a localização da Estação Meteorológica A806 e a localização da Área de Estudo.	66
Figura 19 - Gráfico gerado a partir dos dados de radiação disponibilizados pelo INMET para a estação A806.....	67
Figura 20 – Gráfico ilustrativo do <i>Model Builder</i> responsável pelo cálculo das iterações necessárias para a calibração da ferramenta <i>Raster Solar Radiation</i> . O algoritmo completo está disponível no item APÊNDICE B.68	
Figura 21 - Gráfico gerado a partir dos dados obtidos pelas simulações de cada conjunto de parâmetros ao longo dos 16 anos analisados. Para comparação, destacado em vermelho está o valor real medido pela estação meteorológica.....	69
Figura 22 - Gráfico do parâmetro D (Proporção Difusa), mostrando os valores que obtiveram as menores diferenças quando comparados com valores reais ao longo de todo o período da simulação.	70
Figura 23 - Gráfico do parâmetro T (Transmissividade), mostrando os valores que obtiveram as menores diferenças quando comparados com valores reais ao longo de todo o período da simulação.	70
Figura 24 - Gráfico mostrando a diferença entre os valores reais e os valores simulados gerados a partir dos parâmetros médios escolhidos para cada mês.....	71
Figura 25 - Mapa mostrando as parcelas, edificações e módulos fotovoltaicos vetorizados nos locais possivelmente afetados pela sombra da edificação estudada.	73
Figura 26 – Figura ilustrativa do <i>Model Builder</i> responsável pela simulação da radiação mensal nas condições T0 e T1 com valores calibrados. O algoritmo completo está disponível nos itens APÊNDICE C E APÊNDICE D.	75
Figura 27 - Mapa mostrando o resultado obtido a partir da simulação da radiação. .	76
Figura 28 - Figura ilustrativa do <i>Model Builder</i> responsável pela extração e compilação dos dados resultantes. O algoritmo completo está disponível nos itens APÊNDICE E e APÊNDICE F.	77

<u>Figura 29 - Recorte de tela do software PV*SOL mostrando a simulação de sistemas fotovoltaicos nas condições T0 e T1.....</u>	<u>80</u>
<u>Figura 30 - Comparação entre os valores estimados na pesquisa e os valores obtidos pelo software PV*SOL.....</u>	<u>81</u>
<u>Figura 31 - Localização da Área de Estudo.</u>	<u>84</u>
<u>Figura 32 - Localização da Estação Meteorológica (A868).....</u>	<u>86</u>
<u>Figura 33 - Gráfico dos valores simulados comparados com os valores reais (em vermelho). Ambos obtidos na área da estação meteorológica.</u>	<u>86</u>
<u>Figura 34 - MDS nas duas condições observadas (T0 e T1). Na imagem T0 a parcela está destacada em amarelo e na imagem T1 a edificação está destacada na mesma cor.....</u>	<u>89</u>
<u>Figura 35 - Área afetada (em vermelho) definida pela sombra gerada pelo novo empreendimento.....</u>	<u>90</u>
<u>Figura 36 - Incidência de radiação calculada nas duas condições (T0 e T1).....</u>	<u>90</u>
<u>Figura 37 - Gráfico mostrando o potencial de geração energética perdido por parcela em 30 anos.....</u>	<u>92</u>
<u>Figura 38 - Mapa representando o potencial de radiação perdido por parcela colorizado pela quantidade.....</u>	<u>93</u>
<u>Figura 39 - Matriz SWOT de análise das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do método desenvolvido no trabalho.....</u>	<u>98</u>

LISTA DE GRÁFICOS

<u>Gráfico 1 - Cumulativo de capacidade energética mundial entre 2010 e 2027.</u>	<u>15</u>
<u>Gráfico 2 - Ocorrências anuais das 8 palavras mais frequentes.</u>	<u>30</u>

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro 1 - Temas, perguntas e objetivos da pesquisa sistemática.</u>	<u>23</u>
<u>Quadro 2 – Temas pesquisados e palavras-chave utilizadas com seus respectivos códigos.</u>	<u>24</u>
<u>Quadro 3 - Comparação mensal entre dados reais da estação meteorológica e a melhor simulação obtida pelo modelo testado.....</u>	<u>87</u>

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1 - Conjunto de parâmetros D e T definidos a partir da calibração da ferramenta <i>Raster Solar Radiation</i> do ArcGIS Pro para a região abrangida pela estação meteorológica A806.....</u>	<u>71</u>
<u>Tabela 2 - Tabela mostrando as perdas de radiação para cada parcela atingida pelo edifício estudado.....</u>	<u>78</u>
<u>Tabela 3 - Potencial de geração energética do primeiro ano. Comparação entre dados obtidos pelo software PV*SOL e o método utilizado na pesquisa.</u>	<u>80</u>
<u>Tabela 4 - Estimativa de valor do potencial de geração energética perdido pelas parcelas afetadas pela edificação estudada.</u>	<u>82</u>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CityGML	<i>City Geography Markup Language</i> (Linguagem de Marcação Geográfica de Cidades)
CO ₂	Dióxido de Carbono
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
FAED	Centro de Ciências Humanas e da Educação
FAPESC	Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IEA	Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> (Detecção de Alcance e Luz)
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i> (Laboratório Nacional de Energia Renovável)
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i> (Consórcio Geoespacial Aberto)
PPGPLAN	Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i> (Sistema Fotovoltaico de Informação Geográfica)
RGB	<i>Red, Green, Blue</i> (Vermelho, Verde e Azul)
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
UAS	Unmanned Aircraft System (Aeronave Remotamente Pilotada)
RSR	<i>Raster Solar Radiation</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWOT	Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanning</i> (escaneamento a laser terrestre)
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (veículo aéreo não tripulado)
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>15</u>
1.	<u>OBJETIVOS</u>	<u>20</u>
1.	<u>Objetivo Geral.....</u>	<u>20</u>
2.	<u>Objetivos específicos.....</u>	<u>20</u>
2	<u>PESQUISA SISTEMÁTICA E REFERENCIAL TEÓRICO.....</u>	<u>21</u>
1.	<u>PESQUISA SISTEMÁTICA</u>	<u>21</u>
1.	<u>Método da Pesquisa Sistemática.....</u>	<u>22</u>
2.	<u>Análise Bibliométrica.....</u>	<u>28</u>
2.	<u>REFERENCIAL TEÓRICO</u>	<u>31</u>
1.	<u>Urbanização e Verticalização das Cidades</u>	<u>32</u>
2.	<u>O Sombreamento Urbano</u>	<u>35</u>
1.	<i><u>Conceitos fundamentais sobre radiação solar e energia fotovoltaica.....</u></i>	<i><u>36</u></i>
3.	<u>Geotecnologias Aplicadas ao Sombreamento Urbano</u>	<u>37</u>
1.	<i><u>Modelagens Tridimensionais de Ambientes Urbanos.....</u></i>	<i><u>37</u></i>
2.	<i><u>Quantificação do Potencial Solar em Ambientes Urbanos</u></i>	<i><u>43</u></i>
4.	<u>Normas e Regulamentações sobre Radiação Solar</u>	<u>46</u>
1.	<i><u>Estudo de Impacto de Vizinhança</u></i>	<i><u>47</u></i>
2.	<i><u>Compensação Urbanística e Justiça Espacial.....</u></i>	<i><u>50</u></i>
3	<u>METODOLOGIA</u>	<u>54</u>
1.	<u>DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</u>	<u>56</u>
2.	<u>MÉTODO UTILIZADO PARA O CÁLCULO DA PERDA DO POTENCIAL SOLAR</u>	<u>57</u>
3.3	<u>DEFINIÇÃO DA ÁREA AFETADA.....</u>	<u>57</u>
3.4	<u>AEROLEVANTAMENTO COM UAS</u>	<u>60</u>
3.4.1	<u>Planejamento do Voo</u>	<u>60</u>
3.4.2	<u>Execução e Processamento do Voo</u>	<u>62</u>
3.5	<u>CALIBRAÇÃO DA FERRAMENTA RASTER SOLAR RADIATION NO ARCGIS PRO</u>	<u>64</u>
3.6	<u>VETORIZAÇÃO DAS PARCELAS, EDIFICAÇÕES E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS</u>	<u>72</u>
3.7	<u>CÁLCULO DA SIMULAÇÃO DE RADIAÇÃO PARA A ÁREA DE ESTUDO</u>	<u>73</u>

<u>3.8</u>	<u>VALIDAÇÃO DA RADIAÇÃO</u>	<u>79</u>
<u>4</u>	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>82</u>
<u>4.1</u>	<u>ESTUDO DE CASO</u>	<u>82</u>
<u>4.1.1</u>	<u>Área de Estudo</u>	<u>83</u>
<u>4.1.2</u>	<u>Fontes de Dados.....</u>	<u>85</u>
<u>4.1.3</u>	<u>Calibração Meteorológica.....</u>	<u>85</u>
<u>4.1.4</u>	<u>Quantificação da Perda Potencial de Energia.....</u>	<u>87</u>
<u>5</u>	<u>ANÁLISES E DISCUSSÃO.....</u>	<u>94</u>
<u>5.1</u>	<u>ANÁLISE SWOT.....</u>	<u>97</u>
<u>5.1.1</u>	<u>Matriz SWOT (<i>Strenghts, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>) ..</u>	<u>98</u>
<u>6</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>102</u>
<u>7</u>	<u>LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS DA PESQUISA.....</u>	<u>104</u>
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>106</u>
<u>8</u>	<u>APÊNDICE A – ALGORITMO DE GERAÇÃO DA ÁREA AFETADA ...</u>	<u>116</u>
<u>9</u>	<u>APÊNDICE B – ALGORITMO DE CALIBRAÇÃO DA FERRAMENTA</u>	
	<u>RASTER SOLAR RADIATION</u>	<u>120</u>
<u>10</u>	<u>APÊNDICE C – ALGORITMO DA SIMULAÇÃO CALIBRADA EM T0 ..</u>	<u>125</u>
<u>11</u>	<u>APÊNDICE D - ALGORITMO DA SIMULAÇÃO CALIBRADA EM T1..</u>	<u>132</u>
<u>12</u>	<u>APÊNDICE E – ALGORITMO DA EXTRAÇÃO DE DADOS.....</u>	<u>139</u>
<u>13</u>	<u>APÊNDICE F - ALGORITMO DA EXTRAÇÃO DE DADOS</u>	
	<u>(SUBMODELO).....</u>	<u>141</u>

1 INTRODUÇÃO

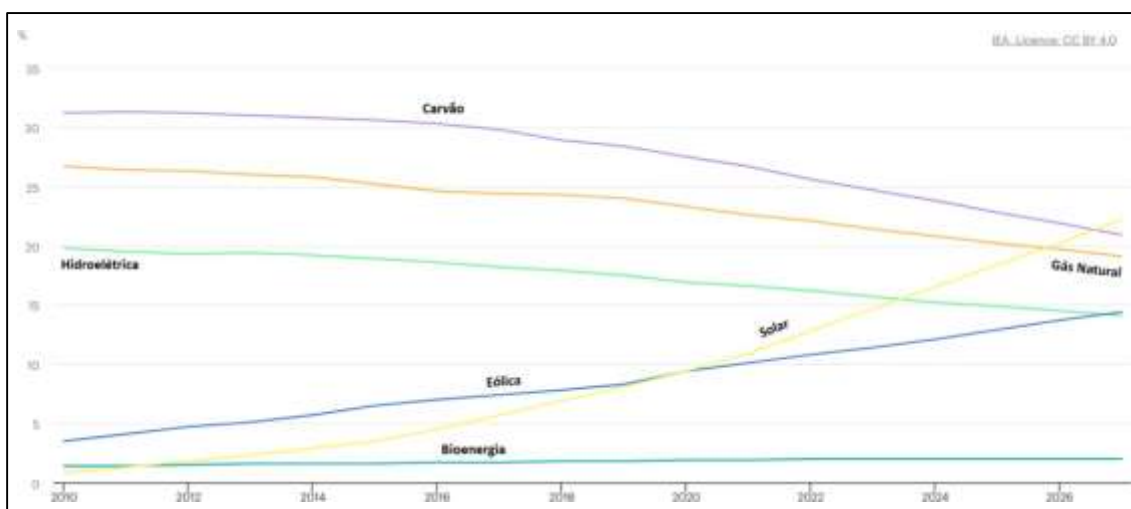
As emissões de CO² vêm crescendo em países em desenvolvimento, enquanto nos EUA e Europa se observa uma tendência de leve queda (IEA, 2021). Isso demonstra a necessidade de uma transição energética com a utilização dos recursos naturais de forma sustentável e consciente.

De acordo com SMIL (2017), a transição energética é o termo utilizado para descrever mudanças na estrutura e composição das fontes de um sistema de energia. No Brasil, essa transição está definida no Plano Nacional de Energia 2050¹ como sendo uma combinação da utilização de fontes renováveis com nível de emissões de gases de efeito estufa próximo a 0% (Mesquita, 2022).

Dentre as formas de geração de energia limpa, a solar se destaca mundialmente. A energia solar é considerada por especialistas como a fonte de energia mais vantajosa entre as existentes atualmente, com capacidade para ser a fonte de maior participação na matriz energética do futuro (Suzigan, 2015).

O Gráfico 1 mostra a capacidade energética projetada até o ano de 2027 pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2022). No gráfico é possível verificar que a energia solar está em crescimento desde o início do período (2010), juntamente com a energia eólica, enquanto outras formas de geração como carvão, gás natural e hidroelétrica têm demonstrado queda.

Gráfico 1 - Cumulativo de capacidade energética mundial entre 2010 e 2027.

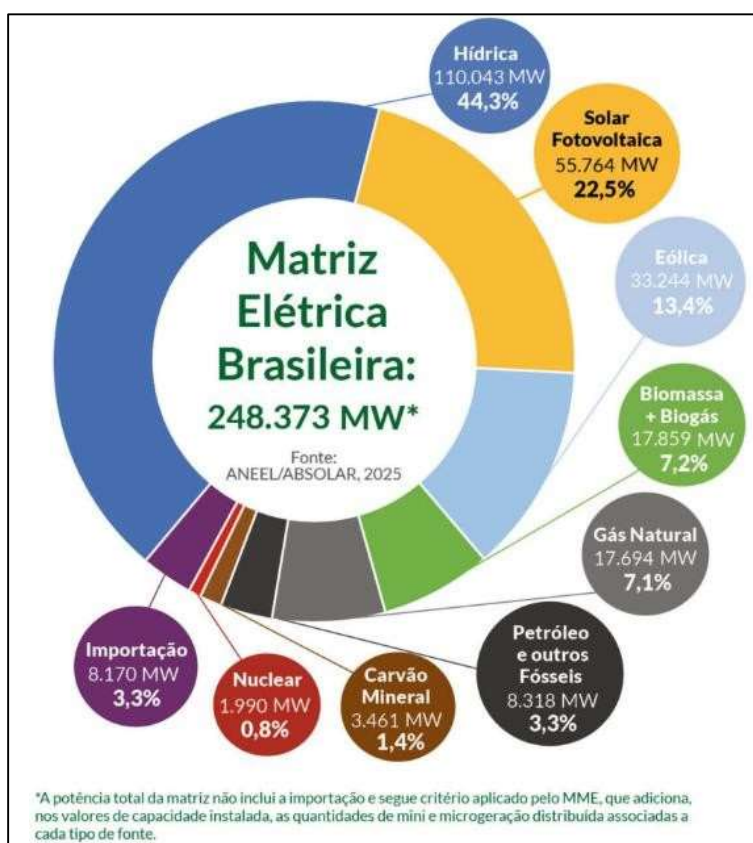


Fonte: (IEA, 2022)

¹ Elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Cria diretrizes para o desenvolvimento do setor energético brasileiro.

De acordo com ABSOLAR e ANEEL, (2025), a matriz energética brasileira é composta por 22,5% de energia solar, configurando-se como a segunda maior fonte de energia, ficando atrás apenas da geração hídrica, que atende 44,3% da geração de todo o país. A [Figura 1](#) demonstra a distribuição da matriz energética brasileira de acordo com dados atualizados em abril de 2025.

Figura 1 - Infográfico que demonstra a distribuição da matriz energética Brasileira. Atualizado em abril de 2025.



Fonte: (ABSOLAR; ANEEL, 2025).

A publicação ilustra também um ranking estadual de potência instalada de energia solar. O estado de São Paulo apresenta o maior potencial instalado do Brasil, com 5485,1 MW representando 14,4% do total nacional, enquanto Santa Catarina ocupa a posição 9 com 3,8% do total. A [Figura 2](#) mostra um infográfico gerado pelos órgãos ABSOLAR e ANEEL em 2025, representando os 10 estados brasileiros com maior potência instalada.

Figura 2 - Infográfico mostrando o ranking dos 10 estados com maior potência instalada de geração de energia solar no Brasil.

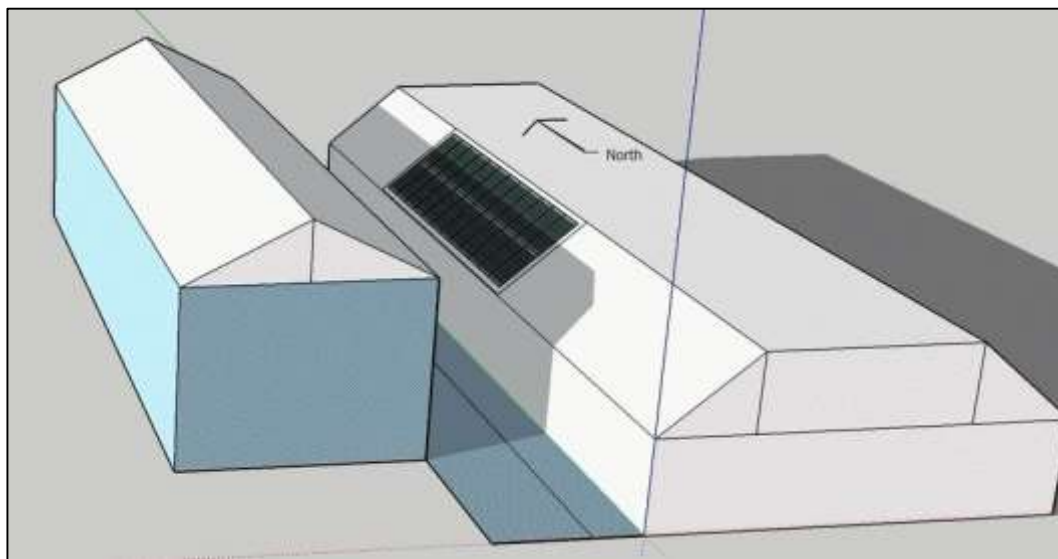


Fonte: (ABSOLAR; ANEEL, 2025)

Considerando sistemas solares residenciais, um dos fatores que mais influenciam na eficiência dos painéis solares é o tempo de exposição à luz solar de forma direta. Quanto maior esse tempo maior é a geração de energia do painel. Isso define alguns fatores em um sistema fotovoltaico, desde o consumo de energia elétrica da edificação até o tempo de retorno do investimento aplicado na instalação do sistema.

Nesse sentido, qualquer obstrução que gere sombreamento sobre o painel acaba diminuindo o potencial de geração de energia daquele equipamento. Essa questão é percebida em maior grau em um ambiente urbano, no qual a verticalização dos imóveis faz com que as edificações vizinhas, construídas em alturas maiores, possuam potencial de obstrução sobre os painéis solares existentes ou potencialmente existentes (Figura 3).

Figura 3 - Simulação da sombra projetada sobre painéis solares. Simulação realizada no software SketchUp.



Fonte: (Peacock, 2020)

Existem atualmente diversos estudos a respeito desse tema, alguns deles tratam o problema sob a ótica do envelope solar (Cardoso; Moscarelli; Vianna, 2021; Knowles, 2003; Perez, 2013), que determina qual seria o volume máximo que as edificações vizinhas podem ocupar para que não obstruam a incidência solar. Outros trabalhos tratam sob a ótica do direito solar, abordando os planos diretores e as legislações específicas sobre o tema (Kettles, 2008; Li et al., 2019; Vianna, 2017).

Tendo em vista as abordagens já existentes para o problema do sombreamento nas cidades, o presente trabalho se propõe a estudar essa questão por outro ângulo, visando complementar as possibilidades de resolução de conflito para os casos em que a construção é autorizada, porém é constatada a obstrução solar nas adjacências. Dessa forma, uma alternativa seria quantificar os prejuízos causados pelo novo imóvel propondo uma posterior compensação.

“Se um objeto está colocado de forma a obstruir o sol em um *heliocaminus*, deve afirmar-se que tal objeto cria sombra num lugar onde a luz do sol constitui absoluta necessidade. Isto é, assim, uma violação do direito do *heliocaminus* ao sol.” (IMPERADOR JUSTINIANO, século VI). (Espí, 1999).

Essa quantificação pode levar em consideração vários aspectos que são alterados em áreas sombreadas, como o conforto térmico, a necessidade de climatização dos ambientes, a saúde dos ocupantes e a capacidade de geração de energia solar. O presente estudo visa quantificar a perda na geração de energia solar, oportunizando que outros pesquisadores realizem estudos semelhantes considerando os outros aspectos citados.

Considerando o planejamento territorial e o desenvolvimento sustentável das cidades, esse é um tema que deve ser analisado em discussões sobre planos diretores e ordenamento das cidades, desenvolvendo diretrizes solares para o planejamento urbano através de critérios para o adensamento e a verticalização das cidades.

1. OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

Analisar os efeitos do sombreamento gerado por edificações urbanas sobre o potencial de geração fotovoltaica e desenvolver uma abordagem de quantificação geotecnológica que subsidie políticas públicas de justiça espacial e planejamento urbano sustentável.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver ferramentas de automatização dos processamentos necessários para o cálculo do potencial solar perdido;
- Desenvolver um método para o cálculo da radiação incidente de forma simplificada utilizando softwares SIG;
- Relacionar a aplicação do método proposto com o Estudo de Impacto de Vizinhança;
- Levantar a existência de exemplos de compensação pela sombra causada existentes em outros países.

2 PESQUISA SISTEMÁTICA E REFERENCIAL TEÓRICO

Uma das formas mais utilizadas pelos pesquisadores para difundir os resultados de suas investigações é a publicação em revistas acadêmicas e eventos científicos (Urbizagastegui, 2016). Devido a isso, existe uma necessidade da comunidade acadêmica em conhecer a estrutura intelectual das produções acadêmicas nos mais variados assuntos (Graeml; Macadar, 2010). Nesse contexto, se aplicam as revisões de bibliografia, que têm como foco, reunir diversas publicações acerca de determinado tema para apoiar a tomada de decisões e desenvolver novos questionamentos científicos.

Existem dois tipos de revisões, a sistemática e a narrativa. Revisões narrativas não utilizam metodologia definida para o seu desenvolvimento, ficando a cargo do autor a seleção, análise e interpretação dos estudos utilizados. Por outro lado, as revisões sistemáticas utilizam métodos que são selecionados com o objetivo de minimizar vieses, fornecendo resultados mais confiáveis (Falavigna, 2018).

Para a formulação do referencial teórico da presente pesquisa, foram utilizadas as referências obtidas na pesquisa sistemática em conjunto com a revisão integrativa. No item 2.1, a seguir, consta a descrição do método utilizado e dos resultados obtidos na pesquisa sistemática. No item 2.2 está apresentado o referencial teórico formulado majoritariamente a partir dos artigos selecionados.

1. PESQUISA SISTEMÁTICA

O método da pesquisa sistemática foi utilizado para selecionar e categorizar os artigos a serem explorados ao longo da pesquisa. Por meio desse método foi possível focar nas perguntas específicas da pesquisa, utilizando referências bibliográficas direcionadas às necessidades encontradas.

De acordo com ATALLAH; CASTRO, (1998) a pesquisa sistemática é um estudo que tem o objetivo de agregar artigos semelhantes apresentando-os em uma análise estatística. Dentre as pesquisas sistemáticas, que também podem ser chamadas de pesquisas sistêmicas, se encaixam a meta-análise e a

bibliometria, que são caracterizadas por serem abordagens quantitativas. No entanto para análise de amostras menores o procedimento mais indicado seria um método qualitativo, como por exemplo o método da revisão integrativa (Chueke; Amatucci, 2015).

De acordo com (Pritchard, 1969), o termo bibliometria pode ser definido como a aplicação de métodos estatísticos e matemáticos na análise de obras literárias. Os estudos bibliométricos podem colaborar na tarefa de sistematizar as pesquisas realizadas num determinado campo do saber e endereçar problemas a serem investigados em pesquisas futuras (Chueke; Amatucci, 2015).

Sendo assim, a abordagem escolhida para a pesquisa dos artigos mais relevantes e relacionados aos temas definidos (que serão posteriormente apresentados) foi o método da revisão sistemática com análise bibliométrica. Essa escolha se deu devido à grande quantidade de artigos encontrados na pesquisa exploratória, o que tornou necessária uma filtragem destes artigos para a composição de um acervo teórico e posterior desenvolvimento da pesquisa.

1. Método da Pesquisa Sistemática

A primeira etapa aplicada na pesquisa sistemática foi a definição dos principais temas a serem abordados ao longo do trabalho. Para tanto foi realizada uma pré-análise, definida aqui como pesquisa exploratória, que consistiu em pesquisar, em bases científicas, o assunto macro da tese, sem a criação de filtros, verificando quais os termos apareciam com maior recorrência e o que ainda é pouco documentado a nível científico. Com o resultado, foram definidos 5 temas principais, que embasaram a pesquisa bibliográfica. São eles:

- A. Painel Solar: Estrutura e Funcionamento
- B. Cadastro Solar, Legislação Solar, Estatuto da Cidade e Plano Diretor
- C. Direito Solar ou Direito de Acesso ao Sol ou Envelope Solar
- D. Geração de Modelos 3D de Edificações e Telhados
- E. Estudo de Impacto de Vizinhaça na Geração de Energia Solar

Após a definição dos temas de pesquisa, foram estipulados também as principais perguntas e objetivos de cada um dos temas. A função destes

delimitadores é nortear a pesquisa sistemática de acordo com a finalidade do trabalho. O Quadro 1, ilustra as perguntas e objetivos de cada tema.

Quadro 1 - Temas, perguntas e objetivos da pesquisa sistemática.

Código	Temas	Perguntas da pesquisa	Objetivo do tema
A	Painel Solar: Estrutura e Funcionamento	Como funciona um painel fotovoltaico? Como é feita a medição de irradiação solar? Quais softwares são utilizados para a medição de irradiação solar? Como funciona o sistema de aquecimento solar?	Dominar o conceito dos painéis solares e compreender o funcionamento básico do sistema
B	Cadastro Solar, Legislação Solar, Estatuto da Cidade e Plano Diretor	O que é, como é criado, quais são os objetivos, no que é utilizado?	Mostrar a importância do cadastro territorial e legislações adjacentes
C	Direito Solar ou Direito de Acesso ao Sol ou Envelope Solar	O que é o Direito solar? Quais são as experiências existentes do Direito solar?	Saber se existem estudos que tratam do Direito de acesso ao sol e da quantificação de iluminação mínima para qualidade de vida
D	Geração de Modelos 3D de Edificações e Telhados	Quais métodos podem ser utilizados para geração de modelos 3D de edificações?	Identificar os principais softwares e métodos utilizados nessa aplicação
E	Estudo de Impacto de Vizinhança na Geração de Energia Solar	Qual é a influência das obstruções para o potencial solar? Obstrução solar pode ser considerada dentro do EIV?	Conhecer os critérios de avaliação do EIV e como a obstrução solar pode ser considerada nesse contexto

Fonte: O Autor (2023).

A etapa seguinte consistiu na definição das bases científicas que apoiariam a pesquisa sistemática, escolha que implica diretamente no formato das palavras-chave.

As plataformas científicas escolhidas para a pesquisa sistemáticas foram a *Scopus* e a *Web of Science*, já que ambas abrangem grande parte da literatura científica mundial (Pranckute, 2021), além de utilizarem os mesmos

requerimentos quanto à formatação das palavras chaves e a utilização de operadores booleanos.

Posteriormente foram elaboradas as consultas (*queries*) considerando as perguntas e os objetivos de cada tema (Quadro 2). Para cada consulta, foi realizada uma busca nas duas bases de dados, sendo que cada uma dessas consultas recebeu um código para facilitar a operacionalização dos filtros e arquivos ao longo da pesquisa sistemática.

Quadro 2 – Temas pesquisados e palavras-chave utilizadas com seus respectivos códigos.

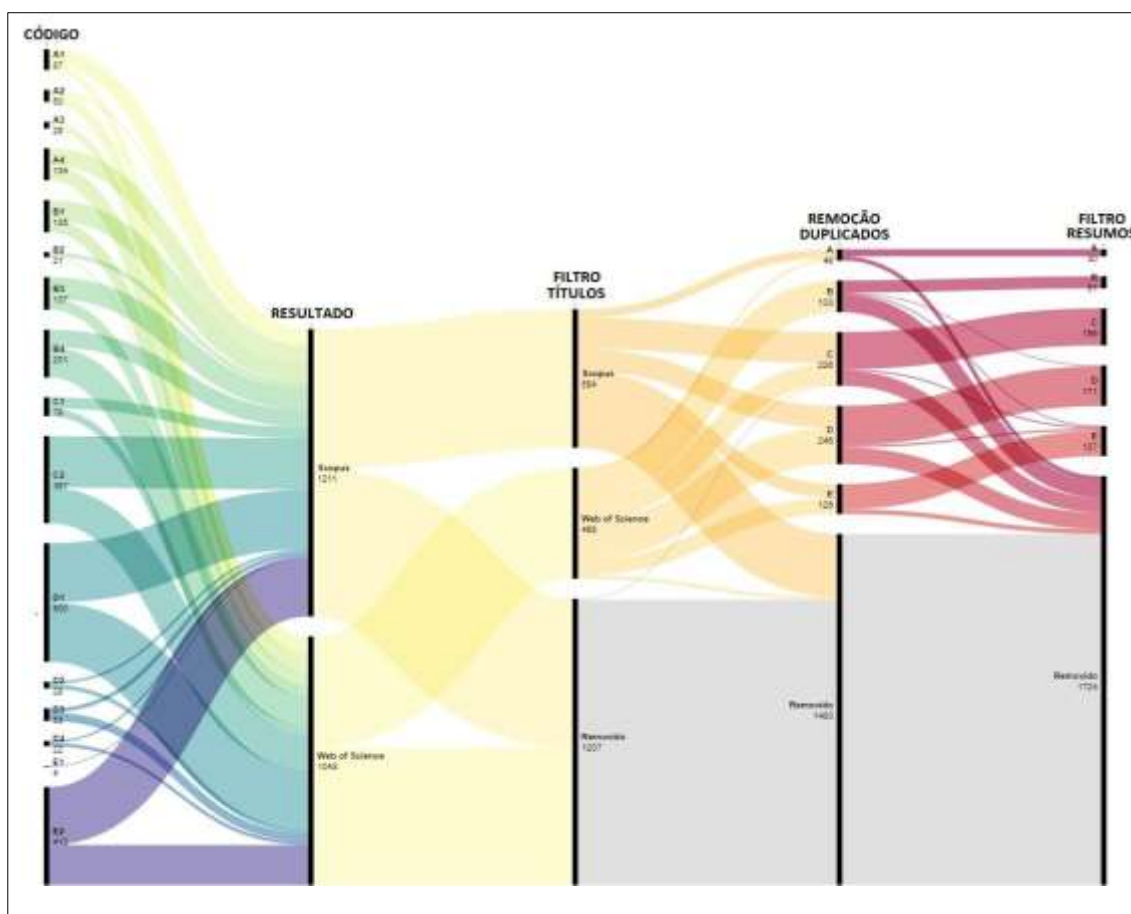
Temas	Código	Consultas de Palavras-Chave
Painel solar: estrutura e funcionamento	A1	((pain* AND solar*) OR (solar AND pane*) OR (pain* AND fotovoltaic*) OR (energia AND fotovoltaic*)) AND LANGUAGE (portuguese)
	A2	((irradiação AND solar) OR (solar AND irradiation) OR (solar AND radiation) OR (radiación AND solar)) AND (software OR programa OR aplicativo)
	A3	(aquecimento AND solar OR boiler OR sistema AND aquecimento AND solar OR aquecimento AND solar AND água) AND LANGUAGE (portuguese)
	A4	water AND heating AND boiler AND solar AND panel
Cadastro territorial (multifinalitário) Legislação (Estatuto da Cidade, Plano Diretor)	B1	cadast* AND solar AND energy
	B2	estatuto AND cidade
	B3	"master plan" AND solar
	B4	cadast* AND solar
Direito solar (Direito de acesso ao sol)	C1	("direito solar") OR (direito AND acesso AND sol) OR ("solar rights")
	C2	("envelope solar" OR "solar envelope") OR "Solar Rights"
Modelagem 3D	D1	(model AND (tridimensional OR 3d)) AND (building OR roof) AND (method OR software OR program) AND 2020-2023 (Year Published)
	D2	(Model* AND (Tridimension* OR 3D)) AND (Edific* OR casa* OR prédio* OR telhado*) AND (Fotogrametri* OR Aerolevante* OR Drone*)
	D3	((Model* AND (Tridimension* OR 3D)) AND (Edific* OR casa* OR prédio* OR telhado*)) AND Laser Scanner OR (Escaneamento AND Laser)
	D4	(model* AND (tridimension* OR 3d) AND (edific* OR casa* OR prédio* OR telhado*)) AND (image* AND satellite)

Temas	Código	Consultas de Palavras-Chave
Estudo de impacto de vizinhança na geração de energia solar	E1	((estudo OR avaliação) AND impacto AND vizinhança)
	E2	(neighbor* AND ((potential OR obstruction*) AND fotovoltaic))

Fonte: O Autor (2023).

De posse das palavras-chave foram realizadas as pesquisas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. No total foram encontrados 1211 trabalhos na *Scopus* e 1048 na *Web of Science*, totalizando 2259 resultados brutos com as palavras-chave definidas. A [Figura 4](#) mostra todo o processo de filtragem dos dados até a obtenção dos resultados finais.

Figura 4 - Gráfico aluvial ou diagrama de Sankey, demonstrando os filtros realizados durante a pesquisa sistemática. Gráfico desenvolvido no software RawGraphs2.0.



Fonte: O Autor (2023).

Salienta-se que a pesquisa de código D1 retornou uma grande quantidade de resultados, principalmente pela amplitude das palavras, com diversas aplicações possíveis. Como esta pesquisa trata de métodos e tecnologias para geração de modelos 3D, foram filtradas apenas as publicações dos últimos 03 anos para que se obtivessem resultados mais atuais. Desta forma, foram encontrados 4.176 resultados na Scopus e 8.374 resultados na Web of Science. A partir deste protocolo foi estabelecido um limite de 250 resultados para cada pesquisa, ordenados de acordo com a relevância dos artigos encontrados. Portanto o resultado para as duas pesquisas de código D1 representam os 250 artigos mais relevantes sobre o tema pesquisado dos últimos 03 anos. Nenhuma das outras pesquisas extrapolou o limite estabelecido de 250 resultados ou necessitou de recorte temporal.

Para todos os temas, os resultados das pesquisas foram salvos em formato *.RIS, que carrega as informações básicas de cada uma das referências encontradas, como: título, autores, resumo, palavras-chave, DOI, entre outras. Posteriormente, estes arquivos foram inseridos em um gerenciador de referências.

O gerenciador utilizado para esta aplicação foi o Zotero, um software de código aberto, projeto da *Corporation for Digital Scholarship* criado no *Roy Rosenzweig Center for History and New Media* (Centro para História e Novas Mídias Roy Rosenzweig) que fica na Universidade *George Mason*, do estado da Virgínia, Estados Unidos (“Zotero”, 2023).

Dentro do gerenciador de referências foi realizado o primeiro filtro das pesquisas, que foi a seleção dos artigos de interesse com base na leitura dos seus títulos. Nesta etapa os títulos que não estavam alinhados com os objetivos do trabalho ou que faziam parte de outras áreas de estudo foram excluídos, e mantidos apenas aqueles considerados interessantes para o desenvolvimento da pesquisa. Após esse filtro, foram mantidos 1.052 artigos, sendo 584 da Scopus e 468 da Web of Science. Em seguida ocorreu a remoção de artigos duplicados que existiam dentro de cada tema, resultando em 779 artigos no total.

O segundo filtro verificou o alinhamento dos artigos com as perguntas e objetivos de cada tema. Para tanto foram analisados títulos e resumos dos artigos e aqueles artigos que não tinham relação com os respectivos temas foram

excluídos ou movidos para outro tema mais pertinente. Os assuntos das filtragens realizadas e os resultados obtidos são descritos nos parágrafos seguintes.

O tema A aborda assuntos referentes ao funcionamento de painéis solares fotovoltaicos e painéis de aquecimento de água aplicados a áreas urbanas. Foram excluídos ou movidos, artigos que tratassem de climatologia, áreas rurais, instalação de sistemas de grande escala, e produção de painéis de baixo custo. Foram mantidos artigos que: tratassem do funcionamento dos painéis; analisassem o retorno econômico da instalação; falassem sobre a matriz energética brasileira ou sobre políticas públicas que beneficiem o setor energético; que tratassem da utilização combinada de painéis fotovoltaicos e de aquecedores solares; e/ou que analisassem a eficiência de painéis solares.

O tema B trata sobre assuntos como Cadastro Territorial, Estatuto da Cidade, Plano Diretor e políticas públicas relacionadas a temática solar e ao planejamento territorial. Foram excluídos ou movidos os artigos que tratassem de métodos de cálculo de potencial solar e métodos de geração de modelos 3D.

O tema C abrange os direitos de uso e acesso ao sol, sendo assim, todos os artigos alinhados com essa discussão foram mantidos como por exemplo, artigos que tratem de direitos solares e envelope solar. Foram excluídos ou movidos artigos que tratassem de climatologia, potencial solar

O tema D trata da tecnologia envolvida na modelagem tridimensional de edifícios. Artigos relacionados a modelagem 3D, levantamento com laser scanner, aerofotogrametria, imagens orbitais para fins de geração de modelos 3D de edificações ou de telhados foram mantidos. Foram excluídos ou movidos artigos que tratavam de estruturas históricas, potencial de geração solar ou modelagem de outras estruturas, como pontes e barragens.

O tema E aborda a influência das estruturas vizinhas no acesso ao sol, portanto foram mantidos artigos que abordassem estudo ou avaliação de impacto de vizinhança, potencial de geração solar e obstruções solares.

Ao fim dessa filtragem foram obtidos 535 resultados. Desse compilado, foram novamente removidos os trabalhos duplicados, resultando em um total de 500 artigos, que foram utilizados na análise do estado da arte dos temas propostos na pesquisa.

De posse destes resultados foi iniciada a etapa de análise dos artigos obtidos. Estas análises foram feitas por meio da utilização de dois softwares que são específicos para análise de uma grande quantidade de dados científicos.

2.1.2 Análise Bibliométrica

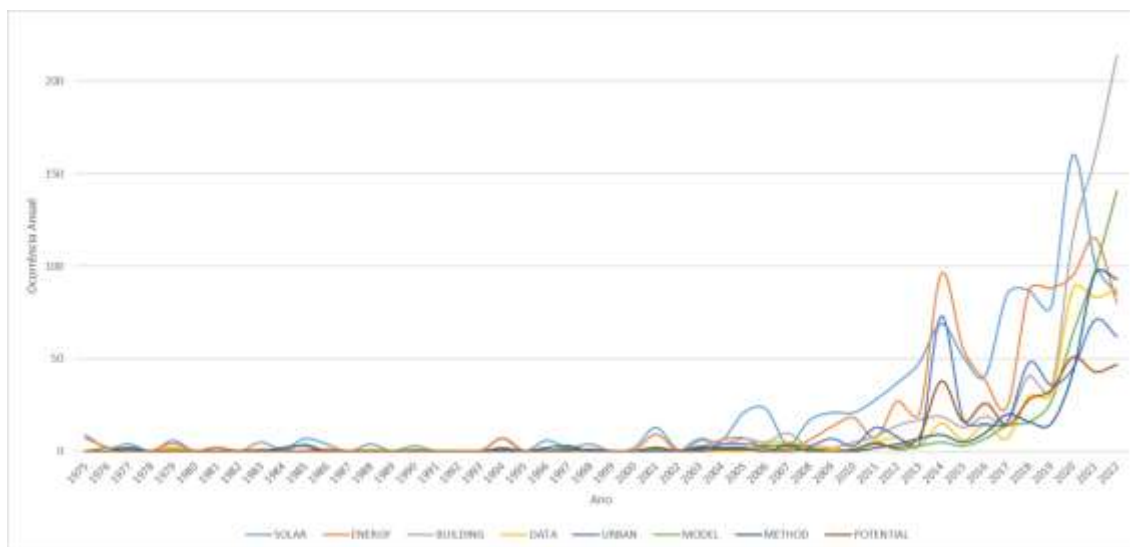
O primeiro software utilizado foi o Bibliometrix, um pacote gratuito da linguagem de programação estatística R, e tem aplicações específicas para análises bibliométricas (Aria; Cuccurullo, 2017). Com o Bibliometrix foi possível gerar a nuvem das palavras mais recorrentes nos artigos selecionados e o gráfico da frequência de aparecimento de determinadas palavras ao longo dos anos.

O outro software utilizado foi o VOSViewer, que é uma ferramenta para construção e visualização de redes bibliométricas (“VOSViewer”, 2023). O VOSViewer foi utilizado para a geração das conexões entre os principais autores dos temas pesquisados e das co-ocorrências e conexões entre as principais palavras existentes.

A Figura 5 ilustra a nuvem de palavras gerada pelo software bibliometrix. Para a geração desta nuvem foram selecionadas pelo software as 50 palavras mais frequentes nos resumos dos 500 artigos filtrados pela pesquisa bibliométrica.

Vale ressaltar que, dos 500 artigos selecionados, apenas 30 estão em língua portuguesa, o que impactou diretamente no fato de o idioma das palavras mais frequentes ser o inglês, já que 453 artigos estão neste idioma. Além destes dois idiomas citados, ainda foram filtrados artigos em espanhol, russo, alemão e chinês.

Gráfico 2 - Ocorrências anuais das 8 palavras mais frequentes.

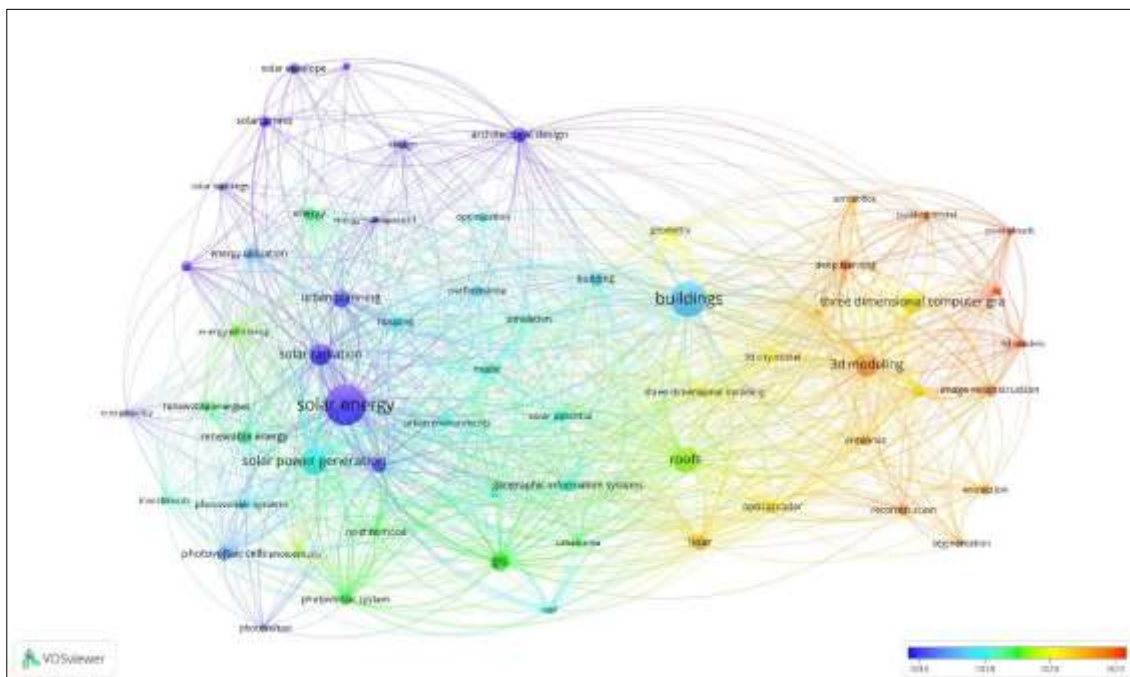


Fonte: O Autor (2023).

No Gráfico 2 é possível verificar que existe uma tendência de alta nos últimos 05 anos, das principais palavras relacionadas aos temas pesquisados. As palavras que tiveram um maior crescimento nos últimos 5 anos foram “*building*”, “*model*”, “*method*” e “*data*”, que são palavras mais relacionadas com o tema D (Modelagens 3D), mostrando que existe uma tendência de crescimento de artigos relacionados a modelagem tridimensional de edificações.

No software VOSViewer foi gerada a nuvem de palavras demonstrada na Figura 6. Esta figura, além de mostrar as palavras mais frequentes representadas pelo tamanho dos círculos presentes em cada palavra, mostra também alguns termos compostos e não só palavras únicas, além das conexões existentes entre os diferentes termos. As cores da figura representam as datas aproximadas de ocorrência dos termos de acordo com a legenda existente.

Figura 6 - Nuvem de palavras com conexões e ocorrência anual. Gerada pelo software VOSViewer.



Fonte: O Autor (2023).

A Figura 6 corrobora com a análise realizada acerca dos dados demonstrados no Gráfico 2, mostrando que, termos como “3d modeling” e “building model” têm ocorrido com maior frequência recentemente, enquanto termos mais tradicionais e/ou conhecidos como “urban planning”, “urban design”, “solar energy”, “geographic information systems”, por serem muito utilizados ao longo dos anos acabaram ficando classificados, em média, com datas mais antigas.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

A urbanização acelerada e o adensamento vertical nas cidades têm o potencial de gerar diversos conflitos no uso e ocupação do solo, especialmente no que diz respeito aos impactos gerados pelas novas edificações sobre o entorno imediato. Um impacto de grande importância para a qualidade de vida urbana, é o sombreamento causado por construções que obstruem a incidência solar em edificações vizinhas.

A incidência solar nos espaços urbanos é um recurso ambiental limitado, cujo acesso tem impacto direto sobre o conforto térmico, a salubridade e a eficiência energética das edificações. Estudos como os de CHENG et al. (2006) e COMPAGNON (2004) destacam a importância da luz solar no contexto urbano, demonstrando que a ausência de radiação solar em ambientes internos pode elevar os níveis de umidade e o consumo de energia elétrica. Apesar disso, as ferramentas de planejamento urbano ainda tratam a questão da sombra de forma qualitativa, sem métodos claros de mensuração ou de regulação.

A falta de padronização na avaliação do sombreamento gera uma lacuna na formulação das políticas urbanas. Nesses contextos, a sombra gerada por novas edificações pode comprometer significativamente o desempenho ambiental das construções vizinhas, sem que haja instrumentos que estabeleçam mecanismos compensatórios adequados.

Nesse sentido, a utilização de geotecnologias e modelagens tridimensionais permite avanços significativos na precisão das análises de quantificação solar, possibilitando avanços na formulação de uma proposta metodológica com potencial de incorporação em políticas públicas e contribuição para um urbanismo mais justo e sustentável.

2.2.1 Urbanização e Verticalização das Cidades

A urbanização acelerada nas últimas décadas tem levado a um aumento significativo na densidade populacional das cidades, resultando em desafios complexos para o planejamento urbano. A verticalização surge como uma resposta comum para a necessidade de acomodar populações crescentes. No entanto, esse processo não ocorre sem consequências, afetando diversos aspectos da vida urbana, desde a infraestrutura até a qualidade ambiental (Güneralp et al., 2017).

A densificação urbana pode contribuir para a eficiência energética das cidades, ao reduzir a necessidade de transporte motorizado e promover o uso de recursos compartilhados. Por exemplo, Güneralp et al., 2017 analisaram cenários globais de densidade urbana e seus impactos no consumo de energia

dos edifícios, concluindo que a densificação pode levar a uma redução significativa no uso de energia.

No entanto, a verticalização também pode acarretar efeitos negativos, como a redução da qualidade de vida devido à diminuição de espaços abertos e à sobrecarga da infraestrutura urbana. Sanches et al., (2025) mostraram, em estudo realizado em cidades brasileiras, que a intensa verticalização não garante automaticamente a disponibilidade de espaços abertos adequados, podendo comprometer a sustentabilidade urbana.

Além disso, a densificação pode impactar negativamente a habitabilidade urbana, especialmente em contextos de planejamento inadequado. Sierra, Solano e Lozano (2024), em seu estudo sobre cidades latino-americanas, destacam que o aumento da densidade e da verticalização levam à deterioração das condições de habitação e ao acesso desigual aos bens urbanos.

A relação entre densidade urbana e desempenho ambiental também é complexa. Chokhachian et al. (2020) desenvolveram abordagens generativas para vincular a densidade urbana ao design urbano, investigando os impactos ambientais resultantes. Esses estudos sugerem que a densidade, quando bem planejada, pode melhorar o desempenho ambiental das cidades.

Contudo, a verticalização muitas vezes é impulsionada por interesses do setor privado, o que pode levar a padrões de fragmentação e polarização social. Yunda e Sletto, (2020) apontam que essas políticas de zoneamento podem resultar em novos padrões de desenvolvimento urbano que favorecem determinados grupos sociais em detrimento de outros.

A percepção pública sobre a verticalização também desempenha um papel crucial no planejamento urbano. Antochviz, (2025), em pesquisa realizada em Capão da Canoa, uma cidade costeira brasileira, avaliou as percepções de diferentes grupos de usuários em relação ao aumento da verticalização e à adequação da legislação urbanística local, revelando uma predominância de avaliações negativas quanto a recente permissão de construção de edifícios mais altos no município em grupos que não pertenciam ao setor construtivo ou imobiliário.

A densificação urbana também pode afetar o microclima das cidades, contribuindo para o fenômeno das ilhas de calor urbanas. Lima, Scalco e

Lamberts, (2019) investigaram o impacto da densificação urbana em edifícios de grande altura e indicaram que mudanças na densidade podem influenciar positivamente o consumo energético, aumentando as temperaturas locais e melhorando o conforto térmico.

A verticalização está ainda associada a processos de gentrificação vertical, como descrito por Lauermann (2022), onde o desenvolvimento de edifícios de luxo em áreas urbanas leva à substituição de populações de baixa renda por grupos de maior poder aquisitivo.

Por outro lado, abordagens alternativas à verticalização extrema têm sido propostas, como por exemplo o conceito de "*low-rise high-density*", explorado por Milanovic e Vasilevska (2018), e Yang et al. (2017), que busca equilibrar a densidade urbana com construções de menor altura, promovendo uma escala mais humana e melhor integração com o ambiente urbano.

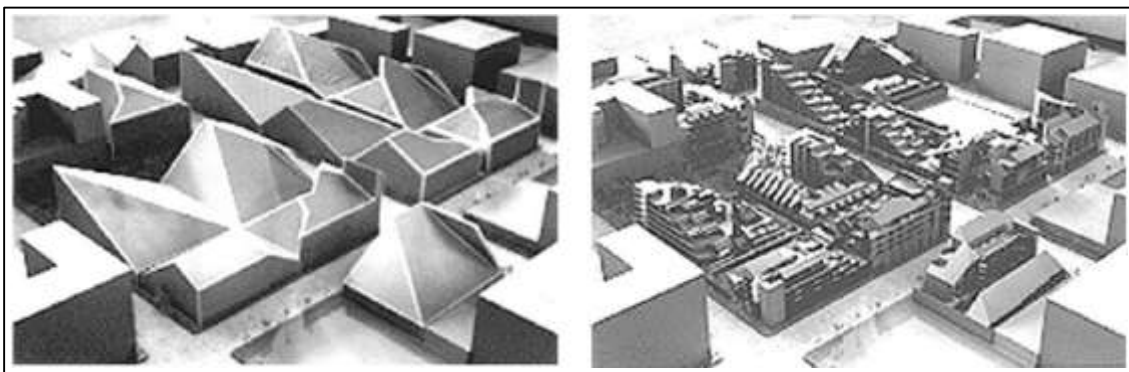
Ainda dentro da visão de limitar o crescimento vertical das cidades para promover melhor qualidade de vida surge o conceito do envelope solar. Este método foi conceituado por Knowles, (1981) como o volume máximo que uma edificação pode ter de forma que esta não projete sombras indesejáveis, garantindo aos lotes vizinhos o acesso ao sol.

Vianna, em 2017, analisou a variável do direito de acesso ao sol em planos diretores e para esta análise foi utilizado o método do envelope solar, de acordo com a autora o método é uma das formas de promover a garantia de acesso solar e assegurar o nível mínimo de radiação solar para as edificações.

Basicamente, o envelope solar é um objeto tridimensional sólido que representa o volume máximo que uma edificação pode ocupar, garantindo que os imóveis adjacentes recebam irradiação solar em um período pré-definido.

Na Figura 7 é possível visualizar uma simulação da aplicação do método do envelope solar em um conjunto de quadras. A disposição mostrada garante 6 horas de luz solar a uma altura de 6,1 m, em todas as propriedades.

Figura 7 - Simulação do Envelope Solar em um conjunto teste de imóveis.



Fonte: (Knowles, 2003).

Nesse contexto, torna-se evidente que a verticalização, embora possa ser uma solução viável para o adensamento urbano, necessita de instrumentos regulatórios mais precisos e justos, capazes de mensurar e mitigar seus impactos negativos. O sombreamento causado pelas edificações é um dos efeitos diretos da verticalização, com implicações significativas para a qualidade ambiental e o conforto térmico. Portanto, a proposta de um método quantitativo de avaliação do sombreamento e sua incorporação ao Estudo de Impacto de Vizinhança surge como resposta necessária e inovadora para qualificar o planejamento urbano frente aos desafios contemporâneos.

2.2.2 O Sombreamento Urbano

O sombreamento no ambiente urbano é um fenômeno diretamente relacionado à forma das edificações e ao uso do solo nas cidades. Ele influencia significativamente o conforto térmico (Zhang et al., 2024), a disponibilidade de luz natural (Lima, 2015) e o desempenho energético dos edifícios (Eicker; Tereci; Kesten, 2010), além de afetar o uso e a permanência das pessoas nos espaços públicos (Lima et al., 2019).

Em climas tropicais, como no Brasil, a presença de sombra pode ser benéfica para reduzir a temperatura do ar e tornar os espaços mais agradáveis. No entanto, o excesso de sombreamento em locais inadequados pode gerar desconforto, dificultar o aproveitamento da luz natural e aumentar o consumo de energia elétrica, principalmente em edificações impactadas por construções

mais altas (Eicker; Tereci; Kesten, 2010). Isso evidencia a importância de considerar a distribuição de sombras no planejamento urbano e na aprovação de novos empreendimentos.

Apesar dessa relevância, o sombreamento ainda é pouco abordado nos instrumentos formais de planejamento, como o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV). Incorporar análises técnicas sobre a obstrução de luz solar nesses estudos pode ajudar a identificar e mitigar conflitos entre construções e seus entornos, além disso, contribui para garantir o acesso equilibrado à luz solar, reconhecida como um recurso ambiental essencial.

2.2.2.1 Conceitos fundamentais sobre radiação solar e energia fotovoltaica

A radiação solar é essencial para diversos processos naturais e tecnológicos, sendo a base para a geração de energia solar fotovoltaica. A quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre varia conforme a localização geográfica, a hora do dia, a estação do ano e as condições atmosféricas (Chuerubim, 2012).

A sombra, no contexto urbano, refere-se à obstrução da radiação solar direta causada por elementos como edificações, árvores ou outras estruturas. Enquanto o sombreamento pode ser benéfico para o conforto térmico em climas quentes, ele também pode impactar negativamente a eficiência de sistemas fotovoltaicos ao reduzir a quantidade de radiação solar disponível para conversão em energia elétrica (Eicker; Tereci; Kesten, 2010).

A insolação representa o número de horas de brilho solar efetivo, é a medida da quantidade de tempo em que a radiação solar é recebida por uma superfície. Regiões com alta insolação são mais propícias para a instalação de painéis solares, otimizando a produção energética (Belúcio et al., 2014).

Um painel solar ou painel fotovoltaico é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos conectados entre si para atingir a potência desejada em uma instalação. A conexão dos módulos pode ser feita em série, para aumentar a tensão, ou em paralelo, para aumentar a corrente, dependendo das necessidades do sistema. Os painéis são montados em estruturas de suporte e são responsáveis por captar a radiação solar e convertê-la em energia elétrica

em corrente contínua, que posteriormente pode ser convertida em corrente alternada por meio de inversores para uso em residências, indústrias ou para injeção na rede elétrica (Solar Sul, 2021).

De acordo com Santos, (2022), o painel solar da forma como é conhecido atualmente foi criado pelo engenheiro estadunidense Russel Shoemaker Ohl e começou a ser utilizado em 1958. Em 1979, o estudo da sombra gerada por objetos adjacentes já foi discutido por Appelbaum e Bany no artigo *Shadow Effect of Adjacent Solar Collector in Large Scale Systems* (O Efeito da Sombra de Coletores Adjacentes em Sistemas de Larga Escala). Neste estudo os autores analisaram a disposição ideal de um conjunto de painéis solares para que a sombra dos próprios painéis não interferisse na geração de energia do sistema, evidenciando a importância do acesso direto ao sol para o aumento da eficiência de um sistema solar.

3. Geotecnologias Aplicadas ao Sombreamento Urbano

As geotecnologias têm se consolidado como ferramentas essenciais no planejamento urbano, especialmente na análise e gestão de dados cadastrais em ambientes urbanos. A aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e modelagem 3D permite uma compreensão mais precisa dos ambientes, contribuindo para decisões mais informadas na urbanização e no desenvolvimento sustentável das cidades.

1. Modelagens Tridimensionais de Ambientes Urbanos

A representação tridimensional das edificações é uma etapa imprescindível para a geração das simulações de irradiação solar, necessárias para o desenvolvimento da presente pesquisa. Para a simulação do caminho do sol de acordo com o posicionamento geográfico da edificação, o modelo 3D da mesma deve ser representado da forma mais detalhada possível, considerando corretamente a altura das edificações, as formas dos telhados e, se possível, a existência de feições como chaminés ou caixas d'água sobre o telhado, que

podem alterar consideravelmente a quantidade de sombra projetada sobre o imóvel vizinho.

Modelagens tridimensionais de ambientes urbanos têm sido gerados para diversas aplicações, incluindo: Planejamento Urbano (Cardoso; Moscarelli; Vianna, 2021); Navegação (CHEN; GAO, 2019); Simulação Solar (Achbab et al., 2022; Li et al., 2019); Preservação Histórica (Guo et al., 2022); e Planejamento de Escaneamentos a Laser (Chen et al., 2022).

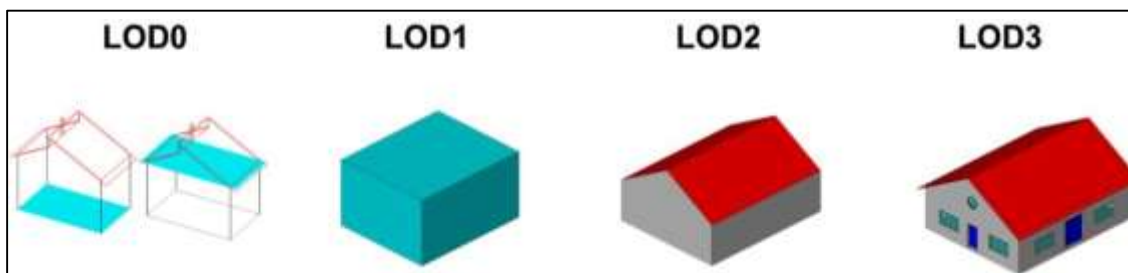
O nível de detalhe de um modelo 3D é uma das suas características mais importantes. Ele demonstra a aderência do modelo ao seu equivalente no mundo real e isso traz implicações na sua usabilidade (Biljecki; Ledoux; Stoter, 2016).

O padrão CityGML 3.0, criado pela OGC (Open Geospatial Consortium, Consórcio Geoespacial Aberto), em 2021 define que existem 4 diferentes LODs (*Levels Of Detail* ou Níveis de Detalhes), em que uma edificação pode ser representada, são eles:

- LOD0 – é a representação em 2D do contorno de uma edificação, podendo ser o contorno adjacente ao solo ou o próprio contorno dos limites do telhado.
- LOD1 – já é uma representação 3D simplificada. Geralmente é obtido por meio da extrusão do polígono existente no LOD0.
- LOD2 – é um modelo 3D que representa simplificada a forma do telhado. Além disso, neste nível as partes do objeto podem ou não ser modeladas em diferentes classes semânticas (paredes, telhado, etc..).
- LOD3 – é um modelo com diversos detalhes arquitetônicos, como portas, janelas, recuos de telhado, sendo consideravelmente mais complexo do que o LOD2.

Todos os LOD podem ou não conter informações internas das edificações, como detalhamento de cômodos, escadas, paredes, entre outros (OGC, 2021). A Figura 8, a seguir, representa os diferentes níveis de detalhe que podem existir na representação virtual de uma edificação existente.

Figura 8 - Representação dos diferentes LOD (Níveis de Detalhe) na representação virtual de uma mesma edificação do mundo real.



Fonte: (OGC, 2021)

De acordo com BILJECKI; LEDOUX; STOTER, (2016), a principal função dos Níveis de Detalhe do CityGML é diferenciar o nível dos dados resultantes de diferentes fluxos de trabalho. Enquanto os autores representam o LOD2 de acordo com a classificação semântica do modelo, comumente este LOD é referenciado como modelo com formas de telhado, mesmo quando o modelo não possui diferenciação semântica.

LEWANDOWICZ, KURDI e GHARINEIAT, (2022), em seu estudo, geraram modelos de edificações contendo torres circulares ou ornamentais, como por exemplo em igrejas, utilizando levantamentos com LiDAR aerotransportado. De acordo com os autores, as fachadas geralmente são difíceis de modelar devido aos dados incompletos que são obtidos de forma aerotransportada, por isso os modelos gerados possuem suas paredes externas geradas a partir do limite do telhado. Esse método permitiu o desenvolvimento de vários algoritmos para modelagem de edifícios com dados LiDAR em nível LOD2.

Os modelos raramente correspondem completamente a realidade pois as tecnologias de construção permitem a criação de estruturas complexas que são difíceis de renderizar em 2D ou até em 3D para visualização de cidades inteiras (Lewandowicz; Kurdi; Gharineiat, 2022).

Os autores SANI et al., 2022 desenvolveram um estudo onde geraram o modelo 3D de uma edificação complexa apenas com levantamento aerofotogramétrico utilizando imagens nadirais e oblíquas distribuídas de forma aleatória para a obtenção de imagens de todas as faces da edificação. O resultado obtido demonstra todos os detalhes externos de telhado e fachada,

caracterizado como LOD3, porém não foi realizada a classificação semântica da edificação.

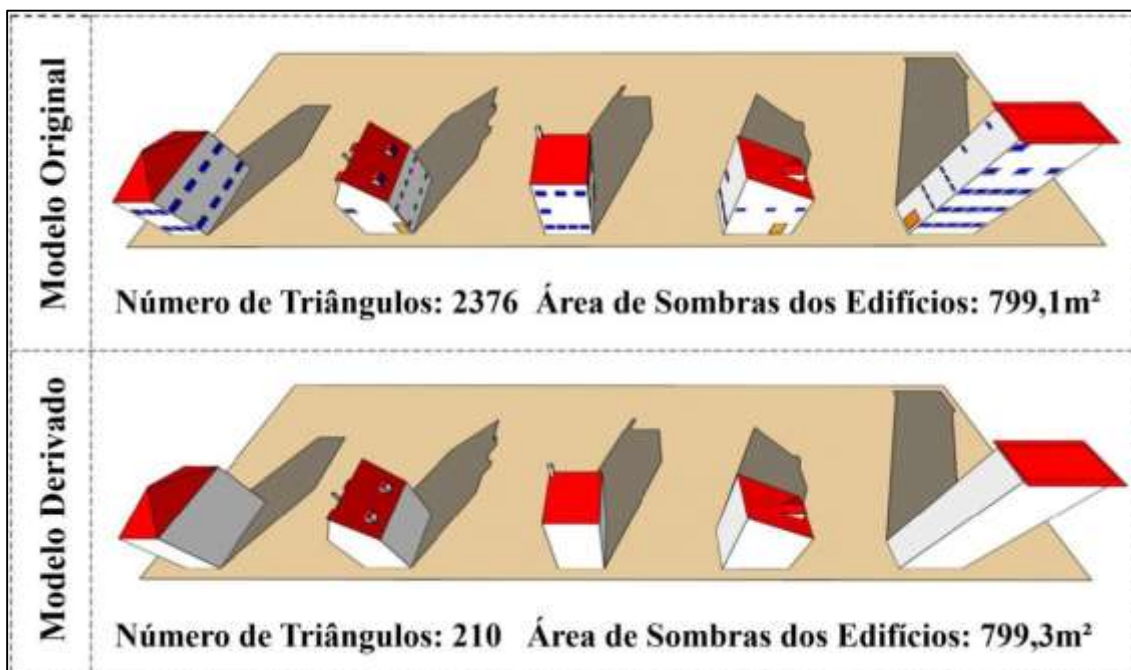
SARETTA, BONOMO e FRONTINI, (2020) desenvolveram um método para a utilização de um modelo 3D com um nível de detalhe intermediário entre LOD2 e LOD3, o que foi chamado de LOD2.5. Por meio de fatores de redução foi estimada a presença de elementos arquitetônicos como janelas, sacadas, portas, entre outros a um nível municipal. Com isso, foi possível melhorar a qualidade da representação da fachada para que se pudesse estimar melhor o potencial de utilização da fachada para geração de energia solar sem a necessidade de um levantamento detalhado em LOD3.

No artigo *An Application driven LOD modelling paradigm for 3D Building Models* (Um Paradigma de Modelagem LOD Orientado a Aplicações para Modelos de Edificações 3D), os autores TANG et al., (2020) sugerem a criação de outros tipos de subdivisão dos níveis de detalhe com a finalidade de economizar recursos na obtenção dos dados e também no processamento dos mesmos.

TANG et al., (2020) sugerem a classificação com base nos componentes adjacentes a edificação, chamados de CLODs, por exemplo: chaminés, caixas d'água, janelas, portas, entre outros. Cada um destes componentes seria adicionado ou removido do modelo de acordo com a necessidade de cada aplicação. De acordo com os autores, com essa abordagem é possível obter modelos tridimensionais de cidades que são feitos sob medida para uma aplicação em particular, contrastando com a atual metodologia que atende a diversas aplicações, mas não é otimizada para nenhuma delas.

Na Figura 9, é possível verificar que a utilização de detalhes da fachada das edificações, como janelas e portas não trouxeram resultados significativos na medição da área de sombra das edificações, que era o objeto de estudo, possibilitando assim a utilização de modelos 3D muito mais simplificados para este fim. Além disso, é possível verificar que detalhes como recuo de telhado e chaminés tiveram uma influência no resultado obtido, apesar de esta influência não ter sido quantificada no trabalho citado.

Figura 9 - Cálculo de Sombra para 5 diferentes edificações. No topo as edificações originais e abaixo as edificações com componentes simplificados.



Fonte: Adaptado de TANG et al., (2020)

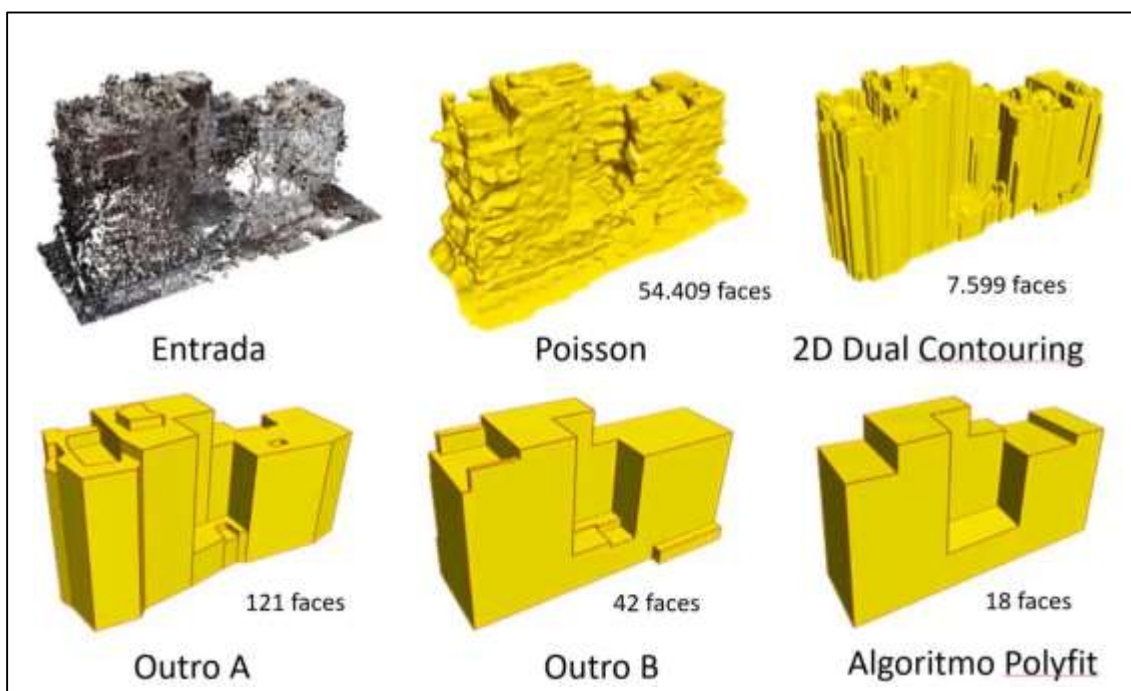
Considerando a necessidade da construção 3D de áreas urbanas em larga escala, a utilização de algum algoritmo que seja capaz de modelar as edificações de forma automatizada com um determinado nível de precisão, traz bastante agilidade ao processo. Atualmente existem alguns algoritmos com resultados bastante satisfatórios que vêm sendo desenvolvidos para este fim.

NAN e WONKA, (2017) desenvolveram um algoritmo chamado Polyfit que tem o objetivo de gerar objetos tridimensionais simplificados a partir de nuvens de pontos. A nuvem pode ser obtida pelos mais variados métodos (escaneamento aéreo, terrestre ou fotogrametria) e a partir dela são localizados todos os planos existentes no modelo. Depois, esses planos são selecionados para que resulte em um objeto único e completamente fechado. Vale ressaltar que apesar do algoritmo ter sido criado em 2017 o seu desenvolvimento continuou a acontecer, tendo a sua última atualização no ano de 2021.

Na [Figura 10](#) está demonstrada a comparação entre o algoritmo Polyfit e outros algoritmos existentes que realizam a mesma atividade. De acordo com testes realizados pelos autores, o algoritmo Polyfit consegue gerar um objeto

com a menor quantidade de faces e ainda assim preservando grande parte das características do objeto real.

Figura 10 - Comparação entre o algoritmo Polyfit e outros algoritmos para geração 3D de objetos.



Fonte: Adaptado de NAN; WONKA, (2017).

CAMACHO, SANTIAGO e SARMIENTO, (2021) fizeram automatizações para a geração de edifícios em LOD2 com dados gratuitos oriundos do projeto OSM (*Open Street Maps*) e do software QGIS juntamente com nuvem de pontos de escaneamento a *laser*. Com este método foi possível gerar corretamente a forma dos telhados em 44,37% dos casos.

HAN et al., (2021) criaram um algoritmo para a geração automatizada de formas de telhados a partir de dados aerofotogramétricos. Em seus testes, a precisão dos modelos obtidos por eles demonstrou os menores valores, quando comparador com outros métodos existentes, incluindo o método Polyfit já citado, apesar de não serem os modelos que possuem a menor quantidade de faces.

KOLIBAROV et al., (2022) utilizou técnicas supervisionadas de *deep learning* para a extração automatizada das formas dos telhados com base na identificação automática das linhas de quebra. Essa extração foi feita através de uma ortofoto e foi capaz de gerar resultados a um nível de detalhe LOD2.

WANG et al., (2023) realizaram a reconstrução das formas do telhado a partir de imagens aerofotogramétricas na posição oblíqua. Desta forma foi possível obter com considerável precisão os modelos tridimensionais de edificações em LOD2. Neste trabalho foram utilizadas a nuvem de pontos obtida por aerolevantamento e os contornos das edificações obtidas gratuitamente do projeto OSM (*Open Street Maps*). As duas fontes de dados foram utilizadas em conjunto para a obtenção de um traçado mais preciso do contorno das edificações e das formas do telhado.

O algoritmo Polyfit é amplamente utilizado na reconstrução de superfícies poligonais a partir de nuvens de pontos, sendo particularmente eficaz na modelagem tridimensional de edificações (Nan; Wonka, 2017). Softwares como o City3D, que implementa o algoritmo citado, têm sido empregados na criação de modelos urbanos em larga escala a partir de dados LiDAR aerotransportados, demonstrando sua aplicabilidade na geração de modelos tridimensionais detalhados de edificações (Huang et al., 2022).

Entretanto, para análises de radiação solar e sombreamento urbano, a geração de modelos tridimensionais por meio do algoritmo Polyfit pode não ser estritamente necessária. Modelos digitais de superfície de alta qualidade podem ser obtidos por técnicas como aerofotogrametria com UAS ou LiDAR aerotransportado, fornecendo resultados comparáveis, em termos de exatidão, dependendo da densidade da nuvem de pontos existente.

De acordo com Marotta et al., (2019), os modelos de superfície gerados por UAS podem atingir resultados comparáveis a aerolevantamento com LiDAR aerotransportado. Um estudo realizado por De Magalhães e Moura, (2018) mostra que o modelo tridimensional gerado por UAS apresenta fidelidade morfológica suficiente para o atendimento ao padrão definido pelo CityGML 2.0 da OGC em nível LOD3, que equivale, em partes, ao nível LOD2 do padrão mais atual (CityGML 3.0).

2.2.3.2 Quantificação do Potencial Solar em Ambientes Urbanos

A avaliação do potencial fotovoltaico de um ambiente urbano, onde se localiza uma significativa fração da demanda energética, traz um melhor

aproveitamento dos sistemas fotovoltaicos. A irradiação solar em um determinado local depende de fatores globais, locais, espaciais, temporais e meteorológicos, portanto, um modelo de potencial solar ideal deve considerar todos esses fatores. Além disso, o uso de dados georreferenciados em ambientes urbanos associados a ferramentas que determinem o potencial solar é particularmente interessante pois permite que sejam modeladas superfícies inclinadas, considerando sombras de edifícios vizinhos ou outras feições existentes (Redweik; Catita; Brito, 2013).

Em seu estudo, Redweik; Catita; Brito, (2013), calcularam o potencial solar da área pertencente ao Câmpus da Universidade de Lisboa, contendo 9 edificações. Os dados foram obtidos por um levantamento aéreo com escaneamento a laser (LiDAR) e o software utilizado foi o SOLTERM. Foram feitos os cálculos de todos os pontos presentes nos telhados, fachadas e chão para cada hora de um ano meteorológico padrão. Com isso, os autores concluíram que as fachadas não geram tanta energia quanto uma superfície mais favorável, como um telhado, entretanto, devido a suas grandes áreas o potencial solar das fachadas é relevante frente ao potencial geral de um edifício.

Khan e Arsalan, (2016), em seu estudo levantaram diversos trabalhos com aplicações específicas para o cálculo do potencial solar que ocorreram entre os anos de 2008 a 2015 em países como Índia, Bangladesh, China, Japão, Canadá e Espanha. Os estudos citados utilizam softwares como ArcGIS, QGIS e AutoCAD a partir de dados de imagens de satélite Quickbird, Google Earth e modelos de elevação como o SRTM (90m).

O estudo de Khan e Arsalan, (2016) utiliza imagens de satélite provenientes do Google Earth e uma associação de vetorização manual no software ArcGIS com uma ferramenta de extração de feições do software ENVI para a obtenção dos traçados dos telhados. Após esta etapa foi utilizado o software HOMER, desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory* – Laboratório Nacional de Energias Renováveis), que é um laboratório do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Neste estudo as análises realizadas consideram os dados em uma escala mais abrangente do que o pretendido, sendo que, para uma análise de sombras mais acurada

considera-se necessária a modelagem da altura correta das edificações bem como da forma dos seus telhados.

Suomalainen, Wang e Sharp, (2017) calcularam o potencial solar a nível municipal, para a cidade de Auckland, na Nova Zelândia. Foram utilizados dados LiDAR para a geração dos modelos tridimensionais dos edifícios, árvores e da topografia do local. O processamento dos dados para a geração do Modelo de Elevação foi feito no software LASTools. Com esse modelo foi utilizado o software ArcGIS para o cálculo da radiação solar anual nas áreas de telhado, considerando latitude, época do ano, hora do dia, condições climáticas médias, forma do telhado e sombras de objetos adjacentes.

Vulkan et al. (2018) calcularam o potencial solar em um ambiente urbano em Rishon LeZion, Israel, considerando tanto o potencial de geração dos telhados como das fachadas. O algoritmo utilizado para a análise foi desenvolvido pelos próprios autores na linguagem R e por meio dele foi possível avaliar a incidência de sombras em superfícies verticais e horizontais considerando as edificações adjacentes em forma de polígonos extrudados de forma simplificada (LOD1), ou seja, desconsiderando as formas do telhado. Os resultados obtidos mostraram também que existe um grande potencial de geração existente nas fachadas dos edifícios, principalmente naqueles que estão orientados para a posição predominante do sol e não possuem obstáculos.

Fuentes, Moya e Montoya (2020) em seu trabalho fizeram a estimativa do potencial solar em uma área de estudo localizada na Universidade de Santiago de Cali, na Colômbia. Os autores utilizaram o software ArcGIS com a ferramenta *Solar Analysis Tool* e dados provenientes de fotogrametria aérea com UASs. Após as estimativas foram feitas comparações com resultados obtidos no software PVSyst, que é um software específico para realização de projetos fotovoltaicos, e com dados reais, obtidos após a instalação de painéis solares no mesmo local. Como resultado, foi constatado que o método utilizado resultou em valores mais próximos dos reais do que o software PVSyst, principalmente devido a superestimativas da eficiência dos painéis utilizados. No método utilizado a eficiência utilizada foi de 16,82% e no PVSyst a eficiência foi considerada com valores em torno de 20%.

O mesmo método foi também utilizado em 2022 por Achbab et al., que realizaram um estudo do potencial fotovoltaico em uma área de estudo na cidade de Casablanca, Marrocos com a finalidade de criação de uma plataforma disponibilizando o potencial solar da área estudada.

O estudo de Milosavljević, Kevkić e Jovanović (2022) avaliou 14 ferramentas de simulação fotovoltaica, utilizando dados reais de um sistema on-grid fixo de 2 kWp localizado em Niš, na Sérvia, durante o ano de 2019. Os dados experimentais registraram uma produção total anual de eletricidade de 2455,621 kWh a partir do sistema e a avaliação focou na precisão da previsão da produção de eletricidade. Os 5 softwares que alcançaram os melhores resultados, apresentando os menores desvios percentuais anuais absolutos em comparação com a produção total de eletricidade real, foram: PVGIS 5, com um desvio de 0,21%; PV*SOL Premium, com 1,26%; Solar Pro 4.6, com 1,55%; SolarGIS, com 2,02%; e HelioScope, com 3,46%.

2.2.4 Normas e Regulamentações sobre Radiação Solar

A consideração da insolação no planejamento urbano é essencial para garantir qualidade ambiental nas cidades, principalmente em contextos de adensamento e verticalização. Nesse sentido, legislações urbanísticas como os Planos Diretores e os Códigos de Obras e Edificações têm papel fundamental ao estabelecer parâmetros urbanísticos que buscam proteger o direito à luz solar nos lotes vizinhos e espaços públicos.

De acordo com Diniz et al. (2015), o Código de Obras é um instrumento essencial, que visa garantir principalmente o conforto ambiental, a conservação de energia e a acessibilidade do ambiente construído do município. As componentes ambientais como a iluminação, a radiação, os ventos e a umidade serão afetadas pelas determinações e configuração do espaço urbano.

Para que haja a garantia de acesso a iluminação natural no ambiente urbano, Laranja, Gazzaneo e Cabús, (2009) afirmam que o conceito deve ser incorporado ao planejamento das cidades. As legislações urbanas devem abordar o tema com mais detalhamento, considerando a geometria solar afim de evitar obstruções indesejáveis à iluminação natural.

Com base no estudo Regulamentações Urbanas e Edifícios: Considerações sob o Aspecto da Iluminação Natural em Ambientes Internos de Laranja, Gazzaneo e Cabús (2009), as regulamentações urbanas e edíficias no Brasil apresentam abordagens distintas, e muitas vezes desconectadas, quanto à garantia de iluminação natural nos ambientes internos das edificações. O Plano Diretor, a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Código de Obras são instrumentos que deveriam atuar de forma integrada para assegurar condições adequadas de salubridade e conforto, incluindo a entrada de luz natural.

O estudo aponta ainda que avanços foram observados em algumas cidades brasileiras ao estabelecerem relações proporcionais entre altura e afastamento das edificações e, em certos casos, levando em conta a orientação solar para permitir maior insolação. No entanto, ainda é comum a negligência de aspectos climáticos, da trajetória solar e das características do entorno construído nas normas urbanísticas. Diante disso, os autores defendem a necessidade de maior articulação entre os instrumentos regulatórios, com incorporação de critérios de desempenho ambiental e adaptação às condições locais como forma de garantir o acesso universal à iluminação natural de qualidade no espaço urbano (Laranja; Gazzaneo; Cabús, 2009).

A Constituição Federal de 1988 atribuiu aos municípios a responsabilidade pela política urbana, tornando o Plano Diretor obrigatório para todas as cidades com mais de 20 mil habitantes (Brasil, 1988). O Plano Diretor, portanto, deve definir objetivos e estratégias para as diferentes regiões do município, funcionando como regulador do espaço urbano e considerando dimensões sociais, econômicas, ambientais e territoriais (Brasil, 2001).

2.2.4.1 Estudo de Impacto de Vizinhança

A Lei Federal nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade, embora não trate diretamente de insolação, define instrumentos como o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), que permite avaliar os efeitos de novos empreendimentos sobre o entorno, incluindo aspectos ambientais como a perda de iluminação natural (Brasil, 2001).

De acordo com Bittencourt et al. (2024), o EIV surgiu no contexto brasileiro como resposta ao crescimento urbano desordenado e às pressões socioambientais decorrentes desse processo. A Constituição Federal de 1988 já estabelecia diretrizes gerais de política urbana voltadas ao bem-estar coletivo e à tutela ambiental nas cidades. Posteriormente, o Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001) institucionalizou o EIV como instrumento urbanístico para identificar previamente os possíveis impactos, positivos e negativos, de novos empreendimentos de grande porte sobre a vizinhança. Trata-se de um estudo prévio exigido durante o licenciamento municipal de projetos urbanos significativos, inserindo considerações de ordem urbanística e ambiental local no processo decisório urbano brasileiro.

Historicamente, o EIV foi concebido para garantir o direito à cidade e a função social da propriedade urbana, harmonizando os novos projetos com o entorno e promovendo o bem-estar social (Sant'Anna, 2020). Essa missão está alinhada ao princípio, consignado no Estatuto da Cidade, de que o uso da propriedade urbana deve atender ao bem coletivo, à segurança, ao bem-estar dos cidadãos e ao equilíbrio ambiental (Medeiros; Kós; Fauth, 2022). No entanto, a implementação do EIV pelas prefeituras revelou desafios: a lei federal tem caráter normativo geral e dependia de regulamentação local, mas muitos municípios apenas reproduziram os princípios da Lei 10.257/2001 sem detalhar procedimentos efetivos. Essa deficiência regulamentar acarretou consequências práticas, como a não identificação prévia de impactos relevantes, expondo a vizinhança a efeitos negativos não mitigados e sobrecarregando o poder público com demandas corretivas posteriores (De Lollo; Röhm, 2005). Duas décadas após sua introdução, observa-se ainda lacunas significativas no conhecimento sobre a aplicação do EIV nas cidades brasileiras e sobre em que medida sua prática atende aos princípios internacionais de avaliação de impacto (Polizel; Montaña, 2023), evidenciando desafios persistentes na efetivação desse instrumento.

Do ponto de vista técnico, o EIV abrange uma análise ampla dos impactos urbanísticos de novas edificações. São avaliados efeitos como a sobrecarga do sistema viário e de infraestrutura urbana, alterações microclimáticas locais, aumento do risco de inundações pela impermeabilização do solo, acréscimo de

poluição sonora e outros efeitos sobre a qualidade de vida na vizinhança (Bittencourt et al., 2024).

De acordo com o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001), o EIV deve contemplar tanto os efeitos negativos quanto os positivos do empreendimento sobre o entorno, fornecendo subsídios para maximizar os benefícios e mitigar os prejuízos de um projeto urbano antes de sua implementação. O resultado do estudo é geralmente consolidado em um Relatório de Impacto de Vizinhança (RIV), que deve ser avaliado pelo poder público municipal e, usualmente, divulgado à população afetada, garantindo transparência e possibilitando o debate público sobre as condições de aprovação do projeto.

Como instrumento de compensação por prejuízos urbanísticos, o EIV viabiliza a imposição de medidas mitigadoras e compensatórias aos empreendedores responsáveis por novos projetos. A ideia central é que os impactos adversos identificados sejam neutralizados ou compensados por contrapartidas apropriadas, de forma a equilibrar os interesses privados com os interesses coletivos da cidade (De Lollo; Röhm, 2005). Com base nas conclusões do EIV, as prefeituras podem condicionar a aprovação do empreendimento à implementação de melhorias urbanas (como adequações viárias, criação de áreas verdes, investimentos em infraestrutura de serviços) e outras ações retributivas que beneficiem a comunidade afetada (Saleme; Micchelucci, 2023).

Ainda de acordo com Saleme e Micchelucci (2023) o EIV funciona como um mecanismo de internalização dos custos sociais e ambientais de novas edificações, assegurando que o uso da propriedade urbana seja compatível com sua função socioambiental e que eventuais ganhos econômicos dos empreendedores não se façam às custas do bem-estar coletivo. Nesse âmbito, destaca-se a importância de explicitar essas medidas compensatórias e mitigatórias na legislação municipal, de modo a conferir maior efetividade e segurança jurídica ao processo.

Um grande desafio associado ao EIV é a quantificação dos impactos e das perdas causadas por novas edificações. De acordo com De Lollo e Röhm (2005), a população vizinha ao empreendimento é a mais afetada pela falta de detecção prévia dos impactos, que impede medidas de controle, mitigação ou

mesmo compensação pelos prejuízos causados pelo empreendimento. Falhas na avaliação quantitativa de aspectos como aumento de congestionamentos, diminuição da insolação e ventilação em edificações vizinhas, ou a saturação de equipamentos urbanos podem reduzir a eficácia do instrumento, dificultando a definição de contrapartidas proporcionais aos danos causados. A não identificação prévia dos impactos de vizinhança implica perda da oportunidade de exigir medidas compensatórias do empreendedor, além de resultar em degradação urbana, desvalorização territorial e maior ônus ao poder público para mitigação posterior.

Ao incorporar critérios de sustentabilidade e justiça urbana nas decisões sobre uso e ocupação do solo, o EIV auxilia na concretização do direito a cidades mais habitáveis e equitativas, em consonância com os objetivos de desenvolvimento urbano sustentável (Bittencourt et al., 2024). O fortalecimento dos processos participativos, a capacitação técnica das equipes municipais e o desenvolvimento de metodologias padronizadas de avaliação de impactos são apontados como caminhos para reforçar o papel do EIV na compensação de prejuízos urbanos (Saleme; Micchelucci, 2023). Em síntese, o EIV se apresenta como um instrumento indispensável para avaliar as interações das novas edificações no ambiente urbano, buscando garantir que o desenvolvimento das cidades ocorra de forma integrada, responsável e orientada pelo interesse público.

2.2.4.2 Compensação Urbanística e Justiça Espacial

A compensação urbanística refere-se aos instrumentos de planejamento que buscam contrabalançar os efeitos sociais e espaciais de empreendimentos urbanos, promovendo justiça espacial.

A Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC) é um instrumento de política urbana que permite ao proprietário construir além do coeficiente de aproveitamento básico mediante pagamento de contrapartida financeira ao município. A OODC baseia-se no conceito de “solo criado” desenvolvido nos anos 1970, pelo qual o direito de construir adicional pode ser criado e vendido pelo poder público (Maleronka; Furtado, 2013).

Ainda de acordo com Maleronka e Furtado (2013), os recursos obtidos com essa outorga devem ter caráter redistributivo, de forma a compensar a valorização imobiliária gerada pelo maior potencial construtivo e socializar a mais-valia urbana com a coletividade. Esse instrumento alia-se princípio constitucional da função social da propriedade, que impõe que o uso da propriedade urbana atenda ao interesse coletivo, o que justifica limitar o direito de construir e exigir contrapartidas do empreendedor em prol da justiça urbana.

De acordo com Camerini e Carriço (2023), por meio do EIV, a prefeitura pode impor condicionantes e contrapartidas específicas ao empreendedor, como melhorias viárias, criação de áreas verdes, equipamentos públicos ou outras ações que neutralizem os efeitos adversos da nova construção. Tais contrapartidas derivam do reconhecimento de que o adensamento construtivo acarreta sobrecarga em infraestrutura urbana e potencial prejuízo à qualidade de vida local.

Para que esses mecanismos de compensação urbanística resultem em justiça espacial, é importante que a avaliação de impactos e a definição de contrapartidas sejam feitas com critérios objetivos e transparência. A quantificação técnica dos impactos permite calibrar as contrapartidas de forma proporcional ao dano ou ônus causado. Procedimentos adequados exigem que o EIV fundamente a tomada de decisões, com participação pública e fiscalização. Apenas com métricas claras e aplicação efetiva das regras, a compensação urbanística pode ser um instrumento legítimo de justiça espacial, internalizando os custos sociais da urbanização de forma equitativa e transparente (Peres; Cassiano, 2019).

Dentro da perspectiva da justiça espacial, considera-se o acesso igualitário a bens ambientais intangíveis, como a luz solar. A luz natural é um recurso urbano limitado, especialmente em áreas adensadas, e tem impacto direto no conforto ambiental, saúde e bem-estar da população (Castro, 2024).

Castro (2024) cita também que alguns urbanistas e juristas brasileiros têm discutido o “direito ao sol”, entendido como o direito de todos os cidadãos à luz solar em suas residências e locais de convívio. Tal direito deriva da necessidade de assegurar qualidade de vida urbana sendo que a luz solar é fundamental para a saúde física e mental dos cidadãos e para a eficiência energética dos edifícios.

A discussão sobre o direito à luz solar insere-se em um contexto teórico mais amplo do direito à cidade, formulado inicialmente por Henri Lefebvre, em 1968 e revisitado por autores como David Harvey, em 2014. Lefebvre conceituou o direito à cidade como o direito de todos os habitantes participarem plenamente da vida urbana e se beneficiarem dos seus recursos, em oposição à apropriação exclusiva da cidade por elites ou pelo capital imobiliário (Brandt, 2018)

A existência de um cadastro territorial atualizado e multifinalitário é essencial para gerir os direitos de construir e o uso da porção aérea das parcelas. De acordo com Costa e Carneiro (2018), com a adoção de modelos tridimensionais, o cadastro passa a representar também o subsolo e o espaço aéreo, alinhando-se a padrões como o ISO 19.152 do LADM (*Land Administration Domain Model*) e o CityGML.

A Transferência do Direito de Construir (TDC) é outro instrumento urbanístico do Estatuto (art.35) voltado a proteger bens de interesse público. A lei define-a como “faculdade concedida ao proprietário para que exerça em outro local ou aliene o direito de construir básico restringido, quando o imóvel for necessário” para finalidades como instalação de equipamentos públicos ou preservação do patrimônio histórico, cultural, ambiental e social. Em outras palavras, permite-se que quem tem seu potencial construtivo limitado (por exemplo, pela tombamento de um imóvel ou por localização em área protegida) transfira esse direito a outra parte da cidade (Santin e Marangon, 2008).

Nesse sentido, a TDC funciona como mecanismo compensatório complementar à outorga onerosa. Enquanto a OODC cobra do empreendedor um pagamento financeiro para aumentar o adensamento no mesmo lote, a TDC oferece ao proprietário afetado a possibilidade de exercer esse direito construtivo em outro lugar (Queiroz; Araújo; Fernandes, 2018). Em termos de justiça espacial, isso significa redistribuir o potencial construtivo sem penalizar desproporcionalmente quem preserva bens coletivos. Em conjunto, a OODC e a TDC são instrumentos complementares de compensação urbanística previstos no Estatuto, ambos alinhados aos princípios constitucionais da função social da propriedade e da distribuição equitativa de benefícios e ônus urbanos (Santin; Marangon, 2008).

Outro instrumento do Estatuto da Cidade que vale a pena ser citado são as OUCs (Operações Urbanas Consorciadas). É definido como um “conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público... com o objetivo de alcançar... transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental”. Em geral, tratam-se de grandes projetos pontuais em áreas delimitadas, executados em parceria público-privada, nos quais se concedem benefícios urbanísticos (como aumento de coeficiente construtivo ou mudança de uso) a investidores em troca de contrapartidas coletivas. Em tese, esse mecanismo redistribui ganhos do desenvolvimento urbano, contribuindo para a justiça espacial (Siqueira e Schleder, 2022).

Contudo, ainda de acordo com Siqueira e Schleder (2022), na prática muitas OUCs têm sido criticadas por privilegiar interesses imobiliários privados em detrimento de contrapartidas sociais proporcionais. Em diversos casos emblemáticos (como Porto Maravilha/RJ e projetos na Faria Lima/SP) verificou-se que as intervenções acabaram ampliando a segregação socioespacial sem retorno condizente à população local.

A compensação urbanística e a justiça espacial devem ser integradas ao planejamento urbano como instrumentos complementares para promover equidade. Os 3 instrumentos do Estatuto da Cidade citados, juntamente com o EIV, ao redistribuírem os efeitos da valorização imobiliária e exigirem contrapartidas, aplicam o princípio da função social da propriedade. No entanto, sua eficácia depende de critérios técnicos e transparência. Ampliar essas práticas para incluir o acesso à luz solar e outros bens comuns fortalece o direito à cidade.

3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi desenvolvida de forma construtiva utilizando a área de estudo como referência para realização dos testes e procedimentos necessários para que se atingisse o objetivo proposto. O fluxograma demonstrado na [Figura 11](#) foi definido por meio da análise bibliográfica de estudos aderentes juntamente com a aplicação de diferentes métodos, com o objetivo de realizar o cálculo de uma forma replicável e confiável.

Após a definição da área de estudo foi construído um algoritmo responsável por definir o traçado da área afetada pela sombra do novo empreendimento. O detalhamento deste algoritmo encontra-se descrito no item [3.3](#). Esta área é definida a partir do cálculo da radiação antes e depois da existência da edificação estudada, sobre um MDT com resolução de 1 metro, o que garante que o resultado seja obtido rapidamente. O polígono gerado é utilizado como referência para a obtenção do MDS com maior precisão para o posterior cálculo detalhado do potencial solar perdido para cada parcela afetada.

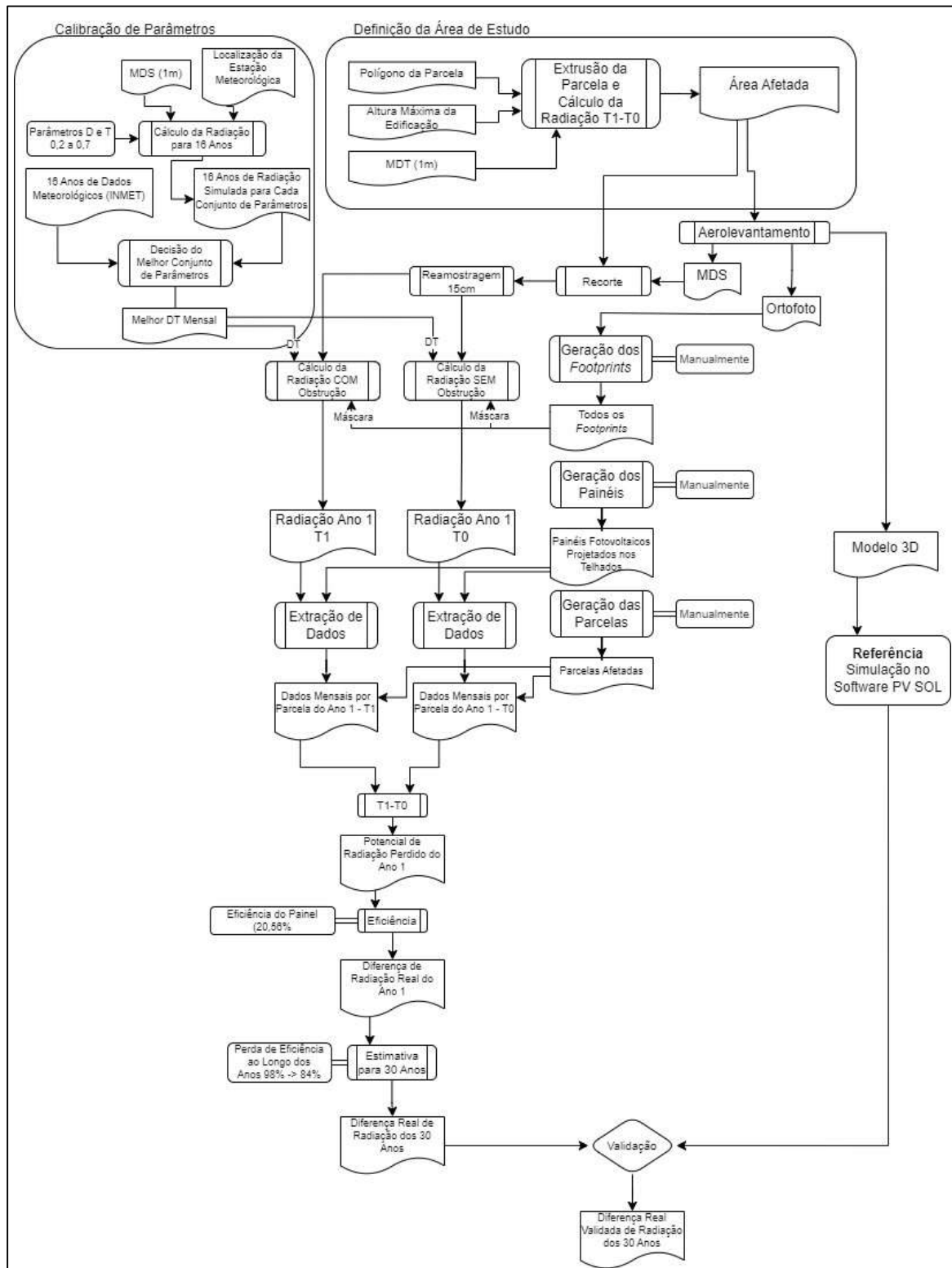
Com base no polígono da área afetada foi possível realizar um aerolevantamento com UAS para a obtenção da ortofoto e MDS de alta resolução espacial (procedimento descrito no item [3.4](#)), que foram utilizados nas etapas seguintes.

Antes do início dos cálculos foi realizada a calibração dos parâmetros meteorológicos da ferramenta com base no trabalho de Kausika e Van Sark (2021). A calibração utilizou dados de uma estação meteorológica e de um MDS com resolução de 1m para definir quais seriam os melhores parâmetros a serem utilizados na simulação para que ela resultasse nos dados reais medidos em campo. Este procedimento está descrito no item [3.5](#).

Esses parâmetros foram então aplicados na ferramenta *Raster Solar Radiation* do software *ArcGIS Pro*, utilizada para mensurar a quantidade de energia elétrica potencialmente gerada com painéis fotovoltaicos nos telhados das edificações atingidas caso o novo prédio não existisse (itens [3.6](#) e [3.7](#)).

No item [3.8](#) encontram-se descritos os detalhes do cálculo da validação do resultado obtido, que foi realizada no software PV*SOL.

Figura 11 - Fluxograma do Método Utilizado no Desenvolvimento da Pesquisa.

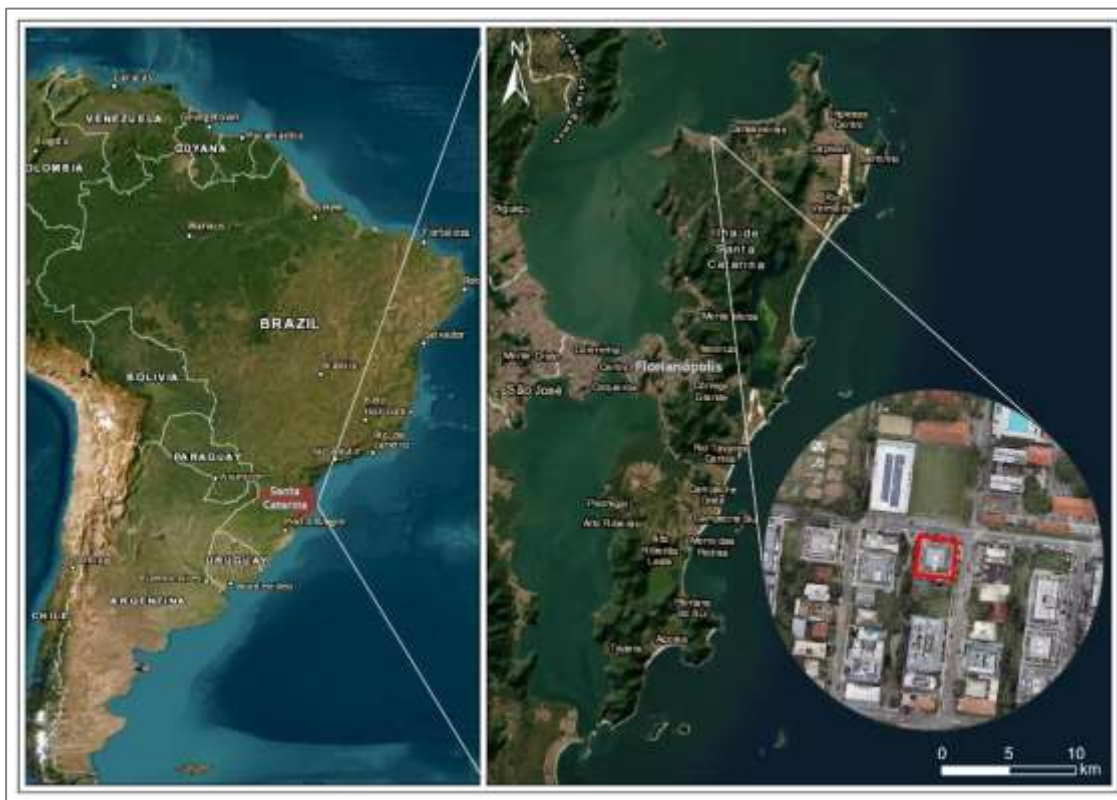


Fonte: O Autor (2025).

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no estado de Santa Catarina, município de Florianópolis, bairro Jurerê Internacional, conforme mostra a [Figura 12](#), a seguir.

Figura 12 - Localização da Área de Estudo



Fonte: O Autor (2025).

A escolha da área de estudo levou em consideração fatores imprescindíveis para o prosseguimento da pesquisa. Primeiramente considerou-se a proximidade e acessibilidade da área, limitando-se ao município de Florianópolis para garantir o acesso fácil e a obtenção dos dados nas condições necessárias para os objetivos da pesquisa.

Outro fator considerado foi a possibilidade de realização de aerolevantamento com UAS, ou seja, a área escolhida não poderia ter restrições para este tipo de voo, como por exemplo possuir edifícios muito elevados ou estar localizada próxima a locais que impossibilitassem a decolagem da aeronave, como aeroportos, heliportos ou helipontos.

A empresa fabricante da aeronave utilizada (DJI) disponibiliza uma plataforma (DJI *FlySafe*) especificamente para verificação destas restrições de voo. Outra fonte de informações a respeito deste tipo de restrição foi o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, que disponibiliza também uma plataforma para solicitações de voos e informa caso haja alguma restrição existente em determinado local.

Apesar de haver a possibilidade de inserir digitalmente o modelo tridimensional do edifício estudado para a simulação, outro fator considerado na escolha do local foi a ocorrência real do fenômeno estudado, ou seja, foi escolhido um local onde existe a ocorrência de geração de sombra causada por um edifício sobre edificações adjacentes.

2. MÉTODO UTILIZADO PARA O CÁLCULO DA PERDA DO POTENCIAL SOLAR

A sequência de etapas que foi utilizada para a obtenção do valor da perda do potencial solar será detalhada nos itens a seguir. Em todos os processamentos foi priorizada a repetibilidade do processo, ou seja, buscou-se ao máximo obter uma automatização das etapas viabilizando o mesmo resultado para diferentes situações ou a geração de novos resultados com diferentes parâmetros de forma ágil e confiável.

As ferramentas e bibliotecas utilizadas para essas automatizações estão inseridas na plataforma *ArcGIS Pro*, fornecida pela empresa ESRI. Foram utilizadas ferramentas de sequenciamento de processos, ou também chamada de linguagem de programação visual, mais conhecida dentro da plataforma como *Model Builder* e bibliotecas com linguagem de programação Python utilizando o pacote *ArcPy*.

3. DEFINIÇÃO DA ÁREA AFETADA

A primeira etapa necessária para o processamento é a definição da área a ser estudada, que pode ser entendida como a área afetada pela sombra do edifício estudado. Essa área é definida ao redor da edificação que é a causadora

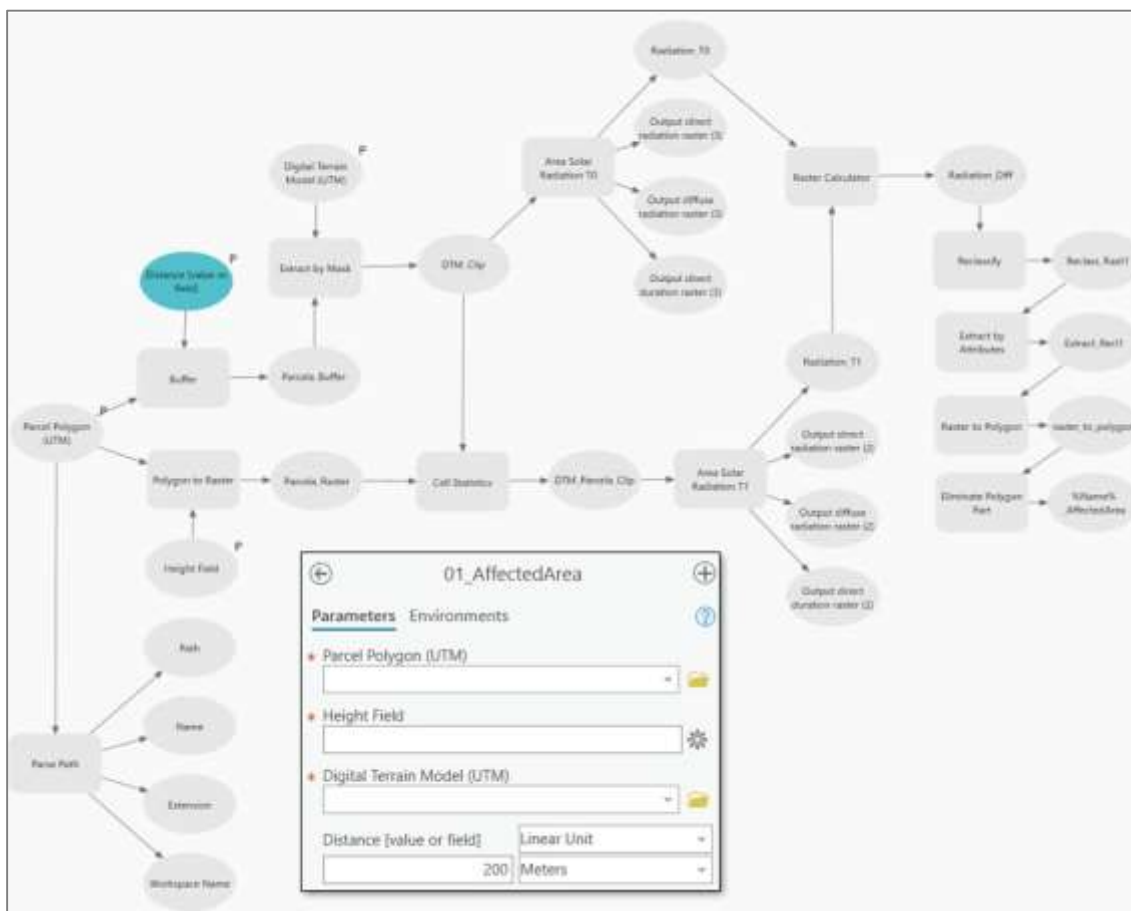
da sombra. Para a criação deste polígono foram utilizadas informações como as dimensões do edifício e a localização e dimensões da parcela, por isso não é possível definir uma área fixa para esta delimitação, a área afetada deve ser calculada caso a caso.

O objetivo do cálculo da área afetada é diminuir a quantidade de processamento necessário nas etapas seguintes. Para esta etapa foi utilizado um modelo digital de terreno (MDT) com resolução espacial de 1m obtido em 2011 e fornecido gratuitamente pelo Governo do Estado de Santa Catarina. As outras duas informações utilizadas para este processo são o polígono referente a parcela do edifício gerador de sombras e a altura máxima da edificação.

O MDT foi utilizado como uma forma de desconsiderar, nesta etapa, as sombras causadas por outras edificações, com o objetivo de definir a maior área possível em que poderiam ser encontradas perdas significativas devido a geração de sombras. O cálculo detalhado das perdas geradas pela sombra será realizado em uma etapa posterior.

Para a criação deste polígono foi desenvolvida uma ferramenta em ambiente *Model Builder*, que possibilita a geração do polígono da área afetada em qualquer situação, desde que fornecidos os dados de entrada necessários. Na Figura 13, a seguir, é possível ver a estrutura da ferramenta e a interface do usuário. Além dos dados de entrada já citados é possível também delimitar uma distância (ou raio) de ação da ferramenta visando a otimização do tempo de processamento. Esse é um fator importante pois caso o MDT seja muito extenso o cálculo será feito para toda essa extensão. Uma vez que a ferramenta gere o resultado, que é o polígono da área afetada, deve-se garantir que ele se encontra dentro do limite do raio pré-estabelecida, caso isso não ocorra é necessário aumentá-lo e executar a ferramenta novamente.

Figura 13 – Gráfico ilustrativo do *Model Builder* responsável por gerar o polígono da área afetada. O algoritmo completo está disponível no item APÊNDICE A.



Fonte: O Autor (2025).

Em resumo, o que a ferramenta faz é inserir um objeto tridimensional sobre o MDT fornecido, esse objeto é representado pelo polígono da parcela nos eixos horizontais e a altura máxima do edifício no eixo vertical. Desta forma ele representa a extensão tridimensional máxima que o prédio pode ocupar. A partir disso é feito o cálculo da radiação solar antes e depois da inserção deste objeto no MDT e ao final calcula-se a diferença entre a radiação obtida nas duas situações. O valor utilizado como limite para que a área fosse considerada afetada foi definido para $80\text{Wh/m}^2/\text{ano}$, ou seja, qualquer variação maior do que esse limite foi considerada como significativa e está inserida no polígono da área afetada gerado pela ferramenta.

Figura 14 - Mapa mostrando a parcela a ser estudada e a área possivelmente afetada pela sombra gerada.



Fonte: O Autor (2025).

4. AEROLEVANTAMENTO COM UAS

Para viabilizar análises a nível de edificação, que é o que pretende a pesquisa, se faz necessário a obtenção da dados tridimensionais de alta resolução. A tecnologia disponível atualmente que alia acurácia, qualidade geométrica, alta resolução espacial e custo acessível é o aerolevantamento com UAS, sendo esse, portanto, o método escolhido para a obtenção dos dados tridimensionais necessários.

1. Planejamento do Voo

Para que o planejamento do voo seja feito de forma coerente, garantindo que o objetivo esperado seja alcançando, é necessário primeiramente definir quais são os resultados esperados do aerolevantamento e para quais fins estes

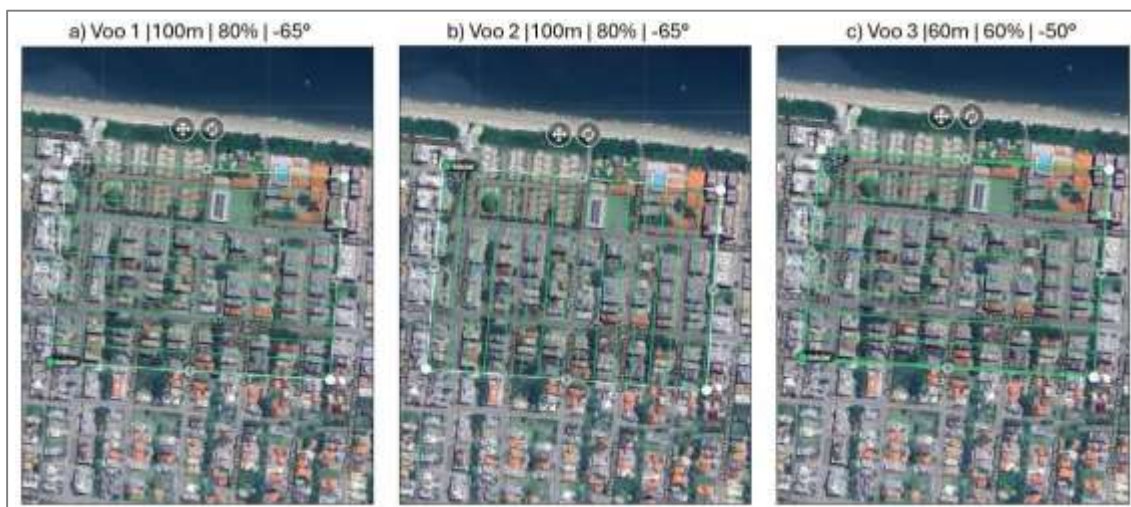
resultados serão utilizados. Tendo isso em vista, o aerolevanteamento foi realizado objetivando um modelo tridimensional da área de estudo, que abrangesse a maior quantidade de detalhes possíveis das edificações e vegetação existente na área.

Nos *softwares* de planejamento de voo existem configurações específicas para a obtenção de modelos tridimensionais com UAS. Basicamente o que essas configurações fazem é inclinar o ângulo da câmera, e realizar o voo em dois sentidos perpendiculares entre si para que todas as laterais das edificações sejam capturadas pelas imagens.

Outra variável considerada no planejamento do voo foi a meteorologia. Considerando que o objetivo do aerolevanteamento seria trabalhar com a geração de modelos tridimensionais com a finalidade de gerar simulações de sombras e estimativas de radiação, foi necessária uma atenção específica para que as imagens fossem obtidas em um momento em que não houvesse projeção de sombras existentes no ambiente. Esse fator não inviabiliza a obtenção das imagens, mas para que o resultado da projeção virtual das sombras tivesse uma melhor qualidade visual, o levantamento foi realizado em um dia nublado.

Conforme Figura 15, foram realizados 3 voos diferentes na área de estudo. Os dois primeiros voos foram feitos a 100 metros de altura, com sobreposições de 80% (lateral e frontal) e ângulo da câmera de -65° , sendo que o primeiro foi feito no sentido Norte-Sul e o segundo no sentido Leste-Oeste. O terceiro voo, teve o objetivo de obter mais detalhes tridimensionais das feições existente a partir um ponto de vista que não pôde ser abrangido nos dois anteriores, devido à altura de voo e ao ângulo da câmera. Este voo foi utilizado para complementação, tendo sido realizado a 60m de altura com ângulo da câmera de -50° e sobreposições de 60%.

Figura 15 - Recortes de tela do aplicativo *Drone Deploy* mostrando o planejamento dos três voos realizados.



Fonte: O Autor (2025).

Na maioria dos casos um aerolevantamento com UAS tem por objetivo principal, a geração da ortofoto, nestes casos a variação altimétrica entre a aeronave e o solo é indesejável pois pode causar um produto com nitidez variável. Como o objetivo principal deste aerolevantamento foi o modelo tridimensional, e não a ortofoto, este fator foi desconsiderado e a inclusão de um terceiro voo em menor altura e maior ângulo de câmera trouxe mais detalhes ao modelo tridimensional gerado.

3.4.2 Execução e Processamento do Voo

Para a realização do voo foi utilizada uma aeronave da fabricante DJI de modelo Phantom 4 Pro. O modelo conta com câmera RGB de 20 megapixels, sensor de 1 polegada e obturador mecânico.

Ao todo foram obtidas 921 imagens, sendo 401 do primeiro voo, 403 do segundo e 117 imagens provenientes do terceiro voo. As imagens foram processadas utilizando o software *Agisoft Metashape* na melhor qualidade fornecida pelo software. Todo o processamento, desde o alinhamento das imagens até a obtenção e exportação de todos os resultados (ortofoto, MDS e Modelo 3D) levou cerca de 8 horas. A [Figura 16](#) mostra um dos modelos

tridimensionais obtidos e a localização de obtenção de cada uma das imagens tomadas.

Figura 16 - Recorte de tela do software *Agisoft Metashape* demonstrando o modelo tridimensional gerado e a posição de algumas das imagens obtidas nos voos.



Fonte: O Autor (2025).

Para o georreferenciamento e garantia da acurácia dos produtos gerados, foram levantados em campo 10 pontos de apoio em feições fotoidentificáveis como faixas de segurança e vértices de meio fio. O levantamento dos pontos de apoio foi realizado com uma antena GNSS do modelo Topcon Hiper VR utilizando o método de posicionamento relativo estático rápido com tempo de ocupação de 25 minutos. A base utilizada para processamento foi o ponto SCFL, integrante da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE.

Durante o processamento, 5 pontos de apoio foram designados para serem utilizados como pontos de controle e 5 pontos serviram como checagem. O valor médio obtido mediante comparação entre as coordenadas de campo e a posição dos pontos localizados nas ortofoto foi de 8,2 cm na componente horizontal. Na comparação com o MDS a média obtida foi de 14,1 cm no eixo vertical. A [Figura 17](#) mostra o resultado obtido no processamento, a ortofoto obtida possui resolução espacial de 2,7cm e o modelo de superfície, resolução de 5,6cm.

Figura 17 - Recorte de tela do software *Agisoft Metashape* mostrando o Modelo de Superfície (MDS) (a esquerda) e a Ortofoto (a direita) obtidos a partir do aerolevanteamento.



Fonte: O Autor (2025).

Após a análise detalhada dos métodos existentes para geração de modelos tridimensionais de ambientes urbanos decidiu-se, na presente pesquisa, trabalhar com modelos de superfície em ambiente 2D. Essa escolha se deu devido a aplicabilidade deste tipo de modelo em *softwares* SIG, que são mais comumente utilizados pelos setores de planejamento urbano e por profissionais que atuam nessa área, considerando a proposição de inclusão do método como um instrumento do EIV.

3.5 CALIBRAÇÃO DA FERRAMENTA *RASTER SOLAR RADIATION* NO *ARCGIS PRO*

A principal ferramenta utilizada para os cálculos envolvendo quantificação de radiação solar no software *ArcGIS Pro* é a ferramenta *Raster Solar Radiation* (RSR). A ferramenta calcula a quantidade de radiação que incide sobre cada pixel de um modelo de elevação. Para o funcionamento da ferramenta devem ser fornecidos obrigatoriamente um modelo de elevação, em formato raster, um período de no máximo 1 ano, sobre o qual será calculado a radiação incidente e dois parâmetros referentes a condições meteorológicas do local. Além dessas

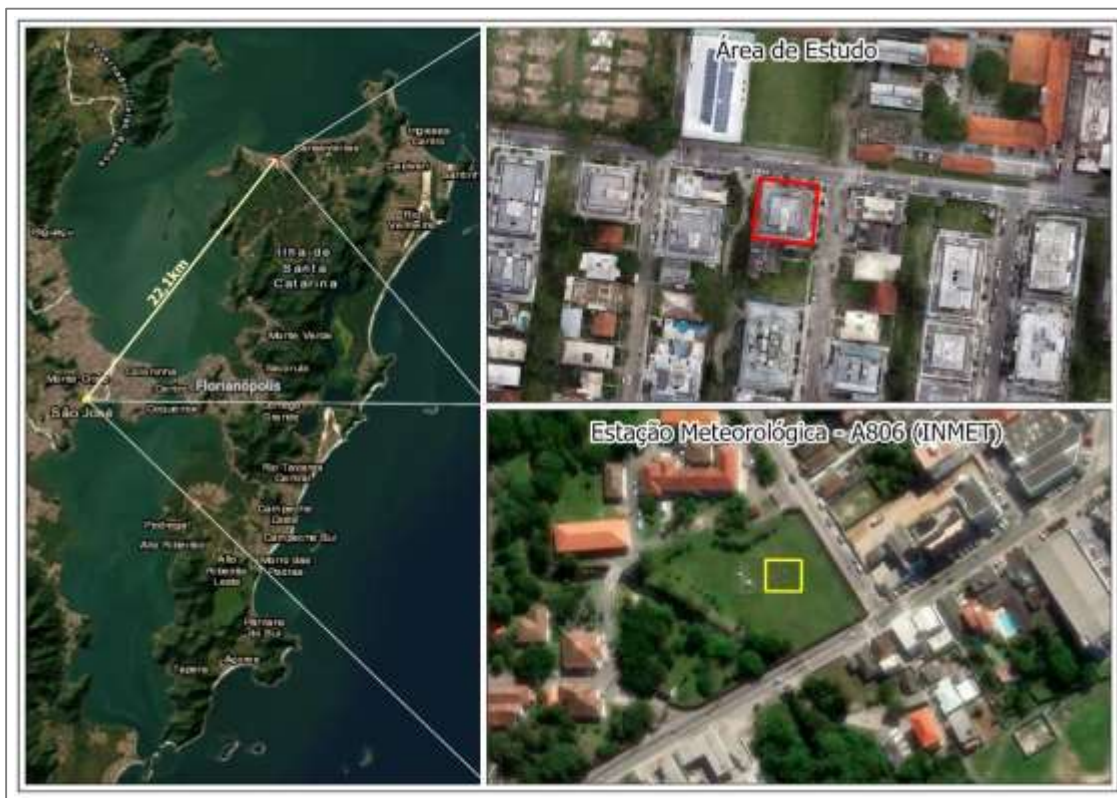
informações existem outras entradas opcionais como inserção de máscaras e definição do intervalo de tempo sobre o qual o cálculo da radiação será realizado.

Os dois parâmetros meteorológicos citados são *Diffuse Proportion* e *Transmittivity*, que podem ser traduzidos respectivamente como Proporção Difusa e Transmissividade.

De acordo com ESRI (2025), o primeiro parâmetro representa a proporção do fluxo de radiação global normal que é difusa, sendo que a radiação global é definida pela soma das radiações difusa e direta. O valor varia de 0 a 1, sendo que 0,2 é geralmente utilizado para condições de céu muito claro e o valor aumenta conforme as condições meteorológicas se tornam mais nebulosas. O segundo parâmetro é a razão entre a energia que chega na superfície da terra e a que é recebida no limite superior da atmosfera. Os valores variam de 0 (nenhuma transmissividade) a 1 (total transmissividade). Vale ressaltar que a transmissividade tem uma relação inversa com o parâmetro da proporção difusa.

De forma empírica, não é possível definir com exatidão quais devem ser os valores para a definição destes parâmetros. Portanto, com base no trabalho realizado por Kausika e Van Sark (2021) foi possível realizar a calibração dos dois parâmetros utilizando dados reais de estações meteorológicas próximas ao local de estudo. Para esta calibração foram utilizados dados fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da estação de código A806, localizada no município de São José, Santa Catarina. Em linha reta, a estação meteorológica fica a aproximadamente 22,1 quilômetros de distância da área de estudo (Figura 18).

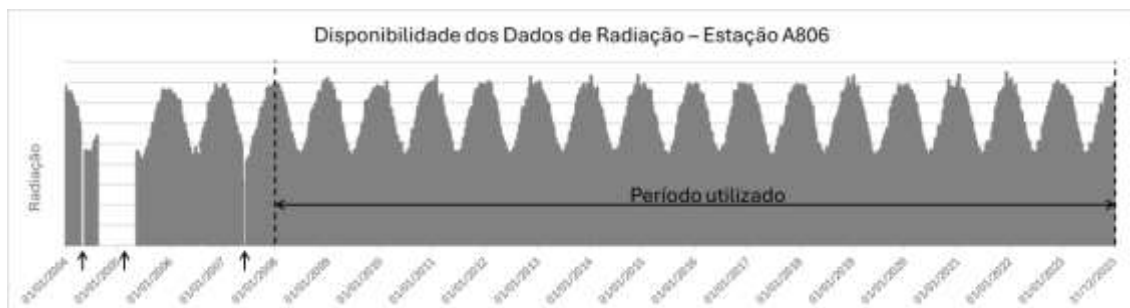
Figura 18 - Mapa mostrando a localização da Estação Meteorológica A806 e a localização da Área de Estudo.



Fonte: O Autor (2025).

A estação A806 está operando desde 21 de janeiro de 2003, entretanto, foi realizado um filtro em seus dados de radiação para priorizar dados anuais completos e sem interrupções. Após essa filtragem foi possível utilizar dados desde 01 de janeiro de 2008 até 31 de dezembro de 2023, somando assim, 16 anos de dados ininterruptos para serem utilizados na calibração da ferramenta. A [Figura 19](#) mostra a consistência dos dados de radiação disponibilizados. Entre 2004 e 2007 houveram 3 interrupções no registro da radiação por esta estação, devido a isso, este período foi desconsiderado.

Figura 19 - Gráfico gerado a partir dos dados de radiação disponibilizados pelo INMET para a estação A806.



Fonte: O Autor (2025).

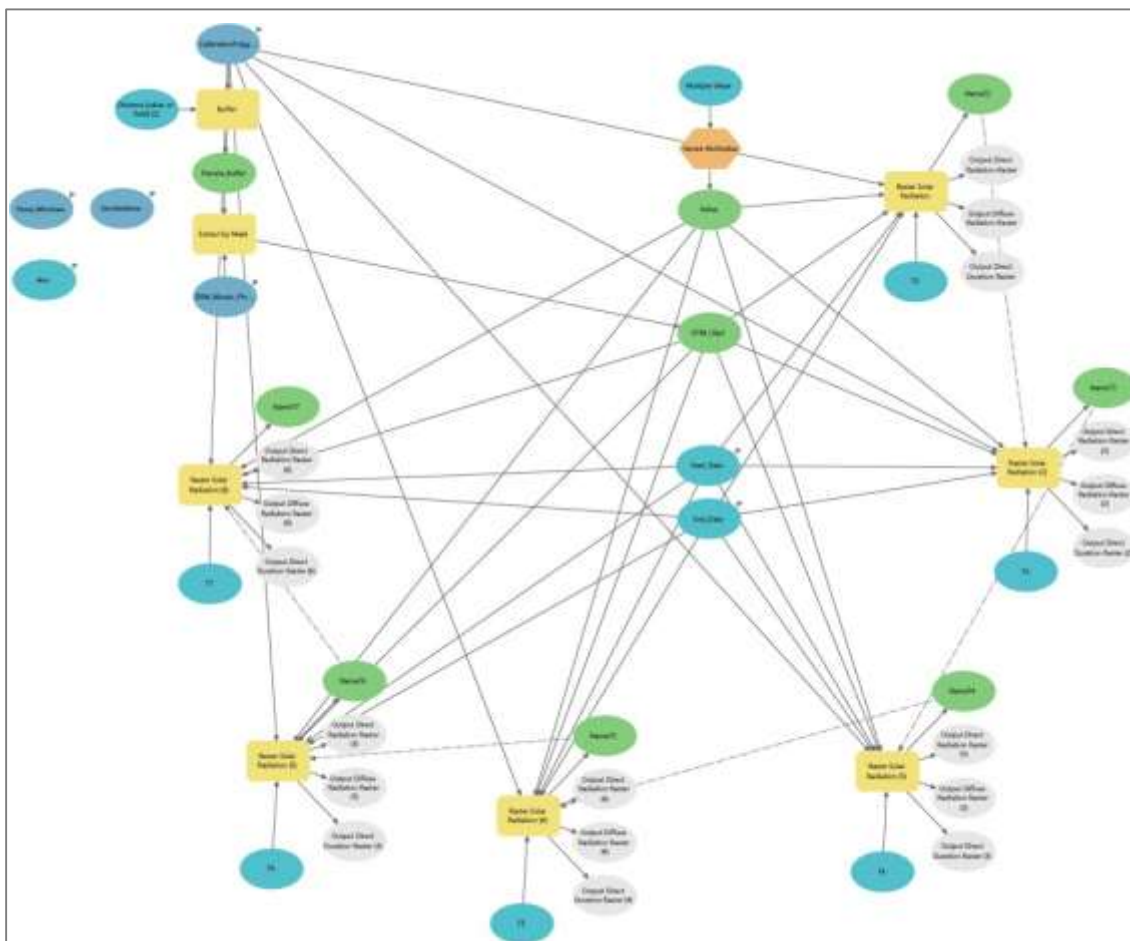
O objetivo desta calibração é definir um conjunto de parâmetros ideal para cada mês do ano, dessa forma é possível considerar as variações atmosféricas provenientes das diferentes estações do ano na região estudada. Foram testadas todas as combinações de um conjunto de parâmetros para verificar quais melhor se encaixam em um mês comum da região estudada, ou seja, foi considerada uma variação entre 0,2 e 0,7 para ambos os parâmetros.

A nomenclatura dos parâmetros foi simplificada para fins práticos durante a realização deste estudo, portanto a sigla D foi definida para o parâmetro *Diffuse Proportion* enquanto a sigla T foi definida para o parâmetro *Transmittivity*. Os valores utilizados foram multiplicados por 10, formando assim o código que referência o conjunto de parâmetros utilizados em cada iteração. Por exemplo, o código D3T5 representa *Diffuse Proportion* de 0,3 e *Transmittivity* de 0,5.

Foram realizadas 36 iterações anuais do processamento, com os parâmetros variando desde D2T2 até D7T7 entre 2008 e 2023. Ao total, foram realizadas 576 simulações de radiação para a área da estação meteorológica. Por ser uma tarefa extensa e de alta repetibilidade, foi necessário utilizar a ferramenta de automatização de tarefas, *Model Builder*, no software *ArcGIS Pro*.

Devido a limitações existentes no próprio sistema da ferramenta *Model Builder*, o fluxo demonstrado na [Figura 20](#) calcula um ciclo anual de 36 iterações, portanto teve que ser rodado 16 vezes (uma para cada ano estudado) para que fosse possível obter todos os valores necessários.

Figura 20 – Gráfico ilustrativo do *Model Builder* responsável pelo cálculo das iterações necessárias para a calibração da ferramenta *Raster Solar Radiation*. O algoritmo completo está disponível no item APÊNDICE B.



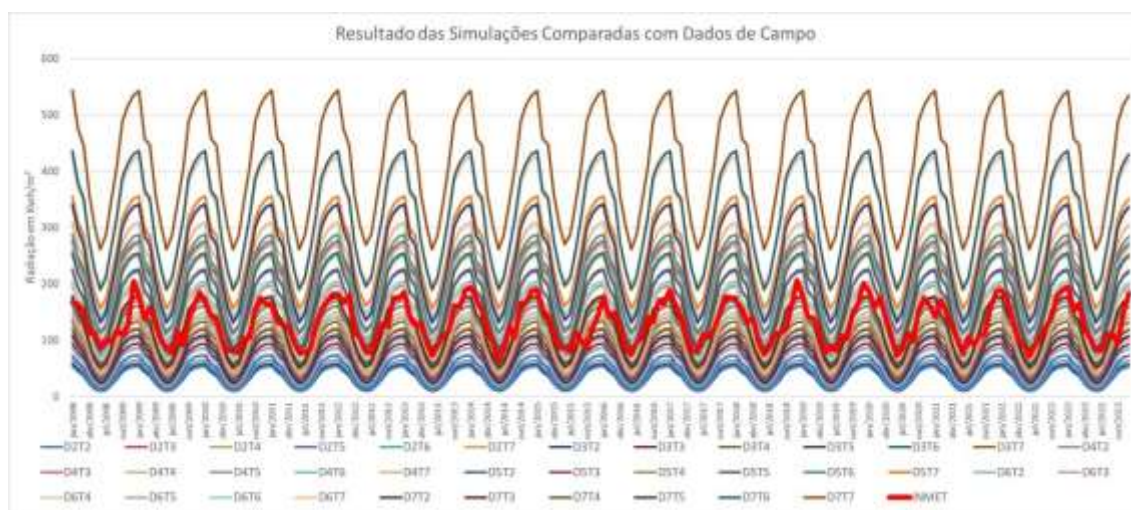
Fonte: O Autor (2025).

A ferramenta foi configurada para calcular a radiação cumulativa diária ao longo do período de um ano. O arquivo de saída é no formato *'crf'*, que é um formato chamado de raster multidimensional, pois cada pixel possui as informações diárias da radiação simulada.

Para que fosse possível fazer a comparação das simulações geradas com os dados reais da estação meteorológica foi necessário extrair as informações do raster multidimensional para uma tabela. Para esta atividade foi utilizada a ferramenta *Sample* do software ArcGIS Pro que basicamente transforma os dados matriciais em tabulares para que sejam trabalhados em um ambiente adequado. A [Figura 21](#) traz uma visualização desta extração de dados em formato gráfico. Nela é possível ver as variações na radiação para cada um dos

conjuntos de parâmetros comparados com os valores medidos em campo fornecidos pelo INMET.

Figura 21 - Gráfico gerado a partir dos dados obtidos pelas simulações de cada conjunto de parâmetros ao longo dos 16 anos analisados. Para comparação, destacado em vermelho está o valor real medido pela estação meteorológica.



Fonte: O Autor (2025).

Os dados obtidos pela simulação foram então comparados com os dados reais com o objetivo de descobrir a diferença em porcentagem entre o valor simulado e o valor real. O quadro das diferenças foi analisado com o objetivo de descobrir qual conjunto de parâmetros obteve a menor diferença para cada um dos meses do período analisado. É possível verificar na [Figura 22](#) e na [Figura 23](#), de forma gráfica, os valores que obtiveram a menor diferença quando comparados com o valor real, destacado com linha mais espessa é possível ver o valor médio escolhido para cada mês do ano em cada um dos parâmetros.

Figura 22 - Gráfico do parâmetro D (Proporção Difusa), mostrando os valores que obtiveram as menores diferenças quando comparados com valores reais ao longo de todo o período da simulação.



Fonte: O Autor (2025).

Figura 23 - Gráfico do parâmetro T (Transmissividade), mostrando os valores que obtiveram as menores diferenças quando comparados com valores reais ao longo de todo o período da simulação.



Fonte: O Autor (2025).

A partir dos gráficos verifica-se que o parâmetro D mostra bastante dispersão quando se analisa o mesmo mês em diferentes anos, resultando em um valor médio variando entre 0,4 e 0,5, o que não ocorre no parâmetro T, onde visualmente é possível verificar que existe uma tendência média ao longo dos meses do ano. Esse comportamento é consistente ao que foi encontrado no estudo de referência realizado por Kausika e van Sark, em 2021 e também pode ser constatado ao analisar os desvios padrões de cada conjunto, pois enquanto o desvio padrão amostral do parâmetro D é em média 0,17 (representando 40,6% do valor médio calculado) o mesmo valor do parâmetro T é 0,08 (representando 18,6% do valor médio calculado).

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos pela calibração da ferramenta *Raster Solar Radiation*, esses parâmetros foram utilizados na simulação da radiação para a área de estudo e podem também ser utilizados para qualquer outra simulação que utilize esta ferramenta e que esteja localizada na mesma região da estação meteorológica A806.

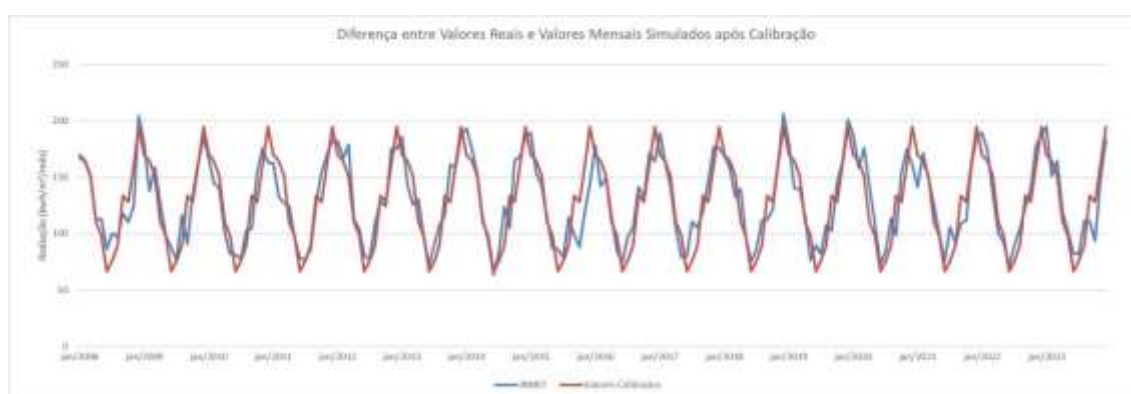
Tabela 1 - Conjunto de parâmetros D e T definidos a partir da calibração da ferramenta *Raster Solar Radiation* do ArcGIS Pro para a região abrangida pela estação meteorológica A806.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Parâmetros	D5T4	D4T5	D4T5	D4T5	D5T5	D4T5	D4T5	D3T5	D4T5	D4T4	D5T4	D4T5

Fonte: O Autor (2025).

A Figura 24 mostra a diferença existente entre os valores reais e os valores simulados gerados a partir dos parâmetros mensais médios obtidos pela calibração. Nota-se que em algumas situações existem variações, porém como o objetivo é realizar essa simulação para um período futuro de aproximadamente 30 anos, que é o tempo estimado de duração de um painel fotovoltaico, a tendência é que essas variações acabem se anulando ao longo do tempo. Ressalta-se que esta simulação foi realizada na área da estação meteorológica.

Figura 24 - Gráfico mostrando a diferença entre os valores reais e os valores simulados gerados a partir dos parâmetros médios escolhidos para cada mês.



Fonte: O Autor (2025).

3.6 VETORIZAÇÃO DAS PARCELAS, EDIFICAÇÕES E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A última etapa antes da quantificação da radiação foi a vetorização das feições que seriam utilizadas nos procedimentos seguintes. Foram vetorizados manualmente as parcelas existentes nos arredores da edificação, os traçados das edificações, mais comumente chamados de *footprints* e os polígonos referentes aos módulos fotovoltaicos que poderiam ser instalados no telhado de cada edificação.

Vale ressaltar que as parcelas foram vetorizadas com base na ortofoto com a finalidade de simulação de uma condição cadastral instalada. A situação ideal é que os polígonos das parcelas sejam fornecidos pelo órgão responsável pelo cadastro e possuam um código de identificação que possa conectar ao proprietário e à cadeia dominial desta propriedade.

Considerando que o objetivo da pesquisa é quantificar a perda na geração de energia solar causada por sombra de outras edificações, definiu-se que seria simulada a maior quantidade possível de módulos fotovoltaicos que coubessem em cada face do telhado, desconsiderando apenas locais onde não é viável a instalação, como por exemplo, embaixo de árvores.

Como existem diversas formas e tamanhos de módulos fotovoltaicos no mercado, um único modelo foi escolhido para ser utilizado como referência durante todo o estudo. O modelo foi utilizado por possuir uma boa relação entre custo e benefício, sendo por esse motivo amplamente utilizado por profissionais da área. O painel possui 525Wp de potência máxima com dimensões de 2,274m de altura por 1,134m de largura.

Ressalta-se ainda que para o posicionamento do módulo sobre a superfície do telhado, foi desconsiderada a inclinação do telhado que por estar sendo visualizado em ambiente 2D causam uma variação nas dimensões projetadas. No Brasil, em média os telhados comuns possuem inclinação de 30%, o que é equivalente a 16,7°. Essa inclinação gera uma diferença dimensional de 4,4% na dimensão que estiver no sentido da inclinação, portanto a diferença varia caso o módulo seja posicionado na vertical ou na horizontal sobre o telhado.

Para o módulo escolhido, essa diferença representa 10cm na altura e 5cm na largura. Na tentativa de minimizar este efeito, foi removido o espaçamento entre os módulos que formam um painel, que geralmente também fica entre 5cm e 10cm. Em locais ou telhados com inclinações mais elevadas recomenda-se quantificar a inclinação e incluir esse fator de redução sobre a dimensão que estiver alinhada com a direção da inclinação. A [Figura 25](#) mostra as parcelas, edificações e módulos vetorizados na área possivelmente afetada pela sombra.

Figura 25 - Mapa mostrando as parcelas, edificações e módulos fotovoltaicos vetorizados nos locais possivelmente afetados pela sombra da edificação estudada.



Fonte: O Autor (2025).

3.7 CÁLCULO DA SIMULAÇÃO DE RADIAÇÃO PARA A ÁREA DE ESTUDO

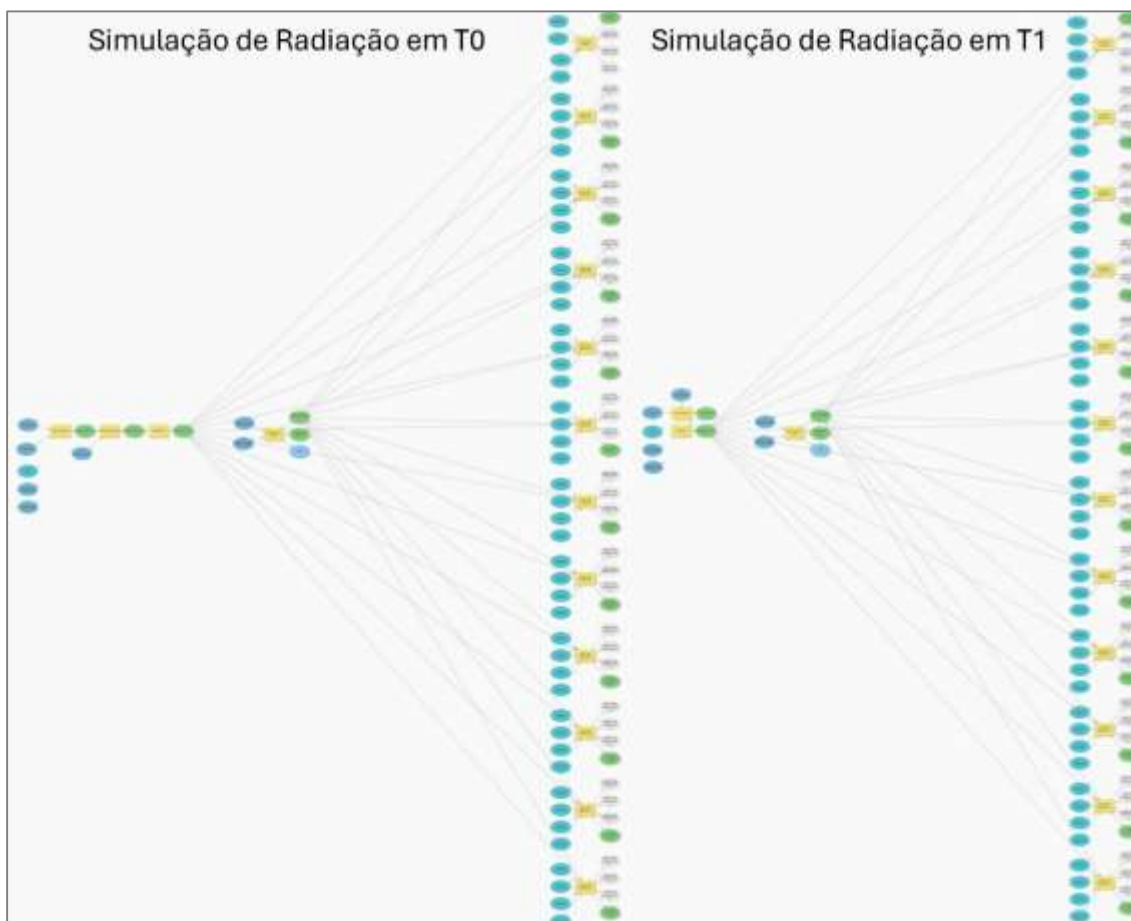
De posse dos resultados obtidos no aerolevantamento, de todos os parâmetros necessários para o cálculo da radiação e dos polígonos de parcelas, edificações e módulos fotovoltaicos, foi possível iniciar a etapa da simulação da

radiação. Como o objetivo é calcular a diferença de radiação causada pela existência da edificação, foram gerados dois fluxos de processamento separados, o primeiro fluxo utiliza o MDS sem a edificação causadora de sombras, esse fluxo foi chamado de T0, como referência ao tempo 0, situação em que a edificação ainda não existe. O segundo fluxo foi chamado de T1 e já considera a existência da edificação.

Vale ressaltar que, no presente estudo, a edificação já está fisicamente no local, portanto ela teve que ser removida do MDS para simular a condição em T0. Em casos em que a edificação ainda não tenha sido construída ela terá que ser adicionada digitalmente ao MDS da forma mais fiel possível para simular a condição em T1.

A Figura 26 mostra os *Model Builders* construídos para a simulação da Radiação. A primeira etapa de ambos os processos é fazer uma reamostragem do MDS utilizado para um pixel de 15cm pelo método do vizinho mais próximo. Esse procedimento tem o objetivo de acelerar o tempo de processamento, e em testes mostrou ser uma resolução ideal para esta aplicação. Após essa etapa, conforme já foi citado, no processamento T0 é feita a remoção da edificação. Uma outra etapa é a seleção dos polígonos referentes as edificações afetadas, o polígono destas edificações é utilizado como máscara no cálculo, ou seja, o resultado só é calculado nos telhados afetados. Em seguida os dois processamentos realizam a mesma etapa, que é o cálculo da ferramenta *Raster Solar Radiation* já com os parâmetros calibrados para cada mês separadamente.

Figura 26 – Figura ilustrativa do *Model Builder* responsável pela simulação da radiação mensal nas condições T0 e T1 com valores calibrados. O algoritmo completo está disponível nos itens APÊNDICE C E APÊNDICE D.



Fonte: O Autor (2025).

Como resultado deste processamento temos arquivos no formato raster multidimensional para cada mês nas condições T0 e T1, os resultados mensais de cada processamento foram unidos gerando um arquivo único com toda a simulação anual em cada condição. A [Figura 27](#) mostra o resultado obtido a partir da simulação calibrada da radiação nas duas condições estabelecidas. Visualmente, é possível notar diferenças na quantidade de radiação recebida pela edificação localizada ao sul da parcela de estudo.

Figura 27 - Mapa mostrando o resultado obtido a partir da simulação da radiação.



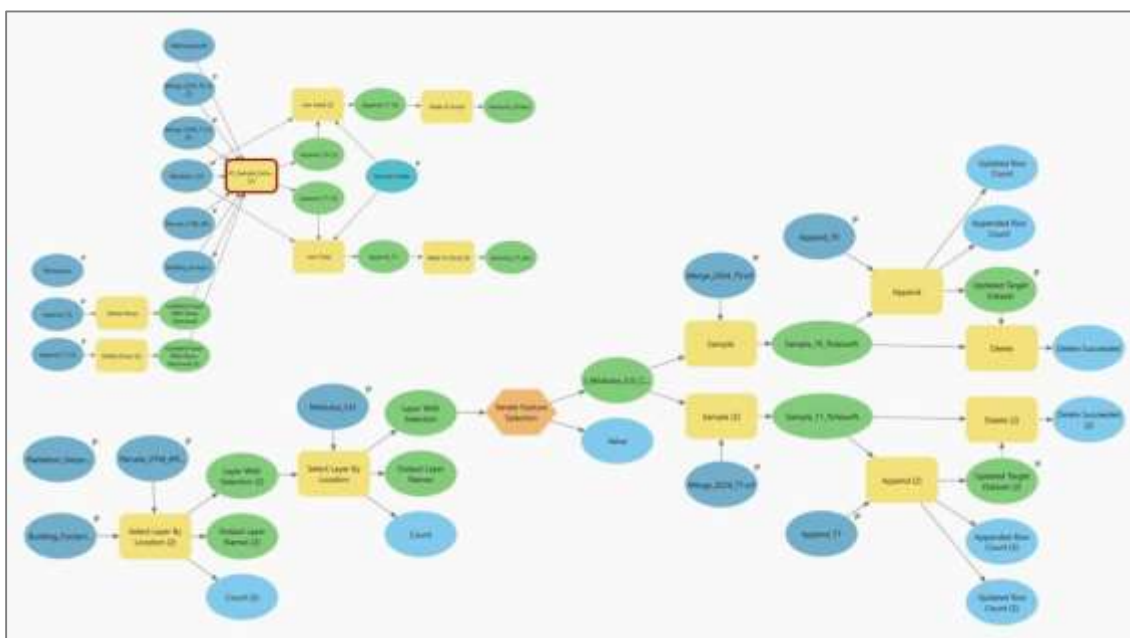
Fonte: O Autor (2025).

Após a geração dos mapas de radiação para as condições T0 e T1 foi necessário extrair os dados para que fosse possível calcular a quantidade de energia que cada edificação deixaria de produzir com a construção do prédio estudado. Essa etapa foi realizada de duas formas diferentes. Primeiramente foi realizada uma análise visual da diferença de radiação, isso foi obtido através da subtração T0-T1, resultando em um arquivo no formato raster que mostra visualmente as perdas existentes em cada telhado ou parcela. Para fins de quantificação destas perdas os dados foram extraídos de forma tabular para serem posteriormente analisados.

Para a extração dos dados foi desenvolvida uma automatização em ambiente *Model Builder* (Figura 28) que gera uma planilha em formato *.xlsx* para ser utilizada no software *Microsoft Excel*. Primeiramente a ferramenta faz a seleção dos telhados que são intersectados pelo polígono da área possivelmente afetada. A partir dessa seleção é feita a seleção dos módulos que estão contidos nesses telhados. Cada módulo é então processado separadamente para que se

faça a extração da radiação recebida por ele com valores diários, portanto, cada um dos módulos presentes nos telhados afetados gera 365 linhas (em anos não-bissextos) em cada uma das duas planilhas geradas (T0 e T1). Vale ressaltar que cada módulo recebeu previamente um código que o identificava quanto a parcela e quanto ao telhado em que estava inserido, dessa forma foi possível separar posteriormente quais módulos pertencem a cada parcela afetada.

Figura 28 - Figura ilustrativa do *Model Builder* responsável pela extração e compilação dos dados resultantes. O algoritmo completo está disponível nos itens APÊNDICE E e APÊNDICE F.



Fonte: O Autor (2025).

Após a extração dos resultados para um formato tabular foi possível obter a diferença de radiação para cada parcela afetada com dados mensais ao longo do primeiro ano calculado. A soma das radiações mensais por m^2 representa quanta radiação por m^2 foi recebida pelo conjunto de painéis localizados sobre os telhados presentes em cada uma das parcelas.

Um módulo fotovoltaico não é capaz de transformar 100% da radiação recebida em energia. A eficiência do modelo utilizado como referência para este estudo é de 20,56%, por isso esse valor fator foi aplicado ao resultado obtido, resultando na quantidade de radiação que os módulos conseguiriam de fato

utilizar. Ao multiplicar esse valor pela área de painéis instalados em cada parcela, obtêm-se o valor absoluto em kwh para o primeiro ano da estimativa.

O tempo de vida útil do módulo utilizado como referência é de 30 anos e a eficiência desse módulo possui uma queda linear ao longo dos anos, iniciando em 98% no primeiro ano e chegando a 84,95% no ano 30. Aplicando esta mesma perda de eficiência ao longo dos anos, foi possível estimar quanta energia, ao longo de 30 anos, cada parcela deixaria de gerar devido a existência do edifício estudado. O Tabela 2 mostra os valores resultantes do processo descrito até então.

Tabela 2 - Tabela mostrando as perdas de radiação para cada parcela atingida pelo edifício estudado.

Mês	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 5	Parcela 8	Parcela 9	Parcela 10
jan (kwh/m ² /mês)	2,12	0,05	7,88	1,10	0,98	1,07
fev (kwh/m ² /mês)	1,95	0,05	8,48	1,54	0,99	0,85
mar (kwh/m ² /mês)	1,19	0,05	20,25	0,95	2,54	1,35
abr (kwh/m ² /mês)	0,61	0,03	31,79	0,39	1,83	3,25
mai (kwh/m ² /mês)	0,73	0,04	34,55	0,38	1,36	3,12
jun (kwh/m ² /mês)	0,41	0,02	27,97	0,21	0,77	2,06
jul (kwh/m ² /mês)	0,46	0,02	31,11	0,24	0,98	2,53
ago (kwh/m ² /mês)	0,37	0,02	32,51	0,23	1,44	3,32
set (kwh/m ² /mês)	0,90	0,04	24,20	0,70	2,42	1,88
out (kwh/m ² /mês)	1,14	0,04	8,89	0,90	1,00	0,64
nov (kwh/m ² /mês)	1,92	0,05	7,46	1,11	0,92	1,01
dez (kwh/m ² /mês)	3,00	0,05	7,23	1,28	0,90	0,98
Soma (kwh/m ² /ano)	14,80	0,46	242,31	9,02	16,12	22,06
Eficiência de 20,56% (kwh/m ² /ano)	3,04	0,10	49,82	1,85	3,32	4,54
Área Painéis (m ²)	110,88	128,93	134,08	154,71	79,93	134,08
Radiação (Kwh/Ano)	337,30	12,27	6.679,93	286,79	264,99	608,15
Kwh Ano 1 (98%)	330,56	12,02	6.546,34	281,05	259,69	595,99
Kwh Ano 30 (84,95%)	286,54	10,42	5.674,60	243,63	225,11	516,63
Soma (Kwh/30 anos)	9.256,40	336,60	183.314,10	7.870,18	7.271,99	16.689,24

Fonte: O Autor (2025).

3.8 VALIDAÇÃO DA RADIAÇÃO

O método utilizado para validar o resultado encontrado foi a comparação do método aplicado neste estudo com resultados obtidos por softwares específicos de planejamento de sistemas fotovoltaicos.

O software escolhido para ser utilizado como referência foi o PV*SOL da empresa alemã, *Valentin Software*. De acordo com um estudo de acurácia de diferentes softwares de simulação de energia solar realizado em Niš, na Sérvia, por Milosavljević, Kevkić, Jovanović (2022), o software PV*SOL atingiu um desvio relativo anual de 1,26% na estimativa de geração energética quando comparado ao valor real. Um outro fator considerado também na escolha foi a grande popularidade do software entre os profissionais da área no Brasil, o que possibilitou o aprendizado e domínio da ferramenta.

A validação foi realizada em apenas uma das edificações afetadas. Nesta edificação foi feito o projeto completo de implantação de painéis solares e a simulação de geração energética. O modelo do módulo solar utilizado para esta validação foi o mesmo utilizado como referência para todas as etapas anteriores. Na edificação onde o sistema foi simulado foram implantados a mesma quantidade de módulos e na mesma disposição do que os módulos simulados neste estudo.

Como o PV*SOL é um software que permite a simulação em ambiente tridimensional, foi necessário gerar um modelo 3D a partir do processamento das imagens aéreas. Os modelos tridimensionais em T0 e T1 foram gerados no software *Agisoft Metashape* e inseridos no PV*SOL para servirem de referência nas simulações. Para simular a condição T0, a nuvem de pontos foi classificada para distinguir os pontos que formavam o prédio estudado, sendo possível assim a sua remoção.

A [Figura 29](#) mostra os modelos tridimensionais gerados já considerado no ambiente do PV*SOL e com os módulos solares projetados sobre as faces do telhado. Após a inserção dos módulos o próprio software sugere possíveis inversores que sejam compatíveis com os conjuntos instalados. Foram utilizados apenas micro inversores para ambas as simulações, dessa forma elimina-se o desligamento de todo o painel no caso de incidência de sombra em um dos

módulos, fenômeno que ocorre comumente quando a sombra atinge um módulo que está ligado a um painel por meio de um único inversor.

Figura 29 - Recorte de tela do software PV*SOL mostrando a simulação de sistemas fotovoltaicos nas condições T0 e T1.



Fonte: O Autor (2025).

Após a realização das duas simulações, os resultados foram comparados com os valores obtidos pelo método aplicado na presente pesquisa. A [Tabela 3](#) mostra os valores de radiação do primeiro ano obtidos pelos dois métodos diferentes.

Tabela 3 - Potencial de geração energética do primeiro ano. Comparação entre dados obtidos pelo software PV*SOL e o método utilizado na pesquisa.

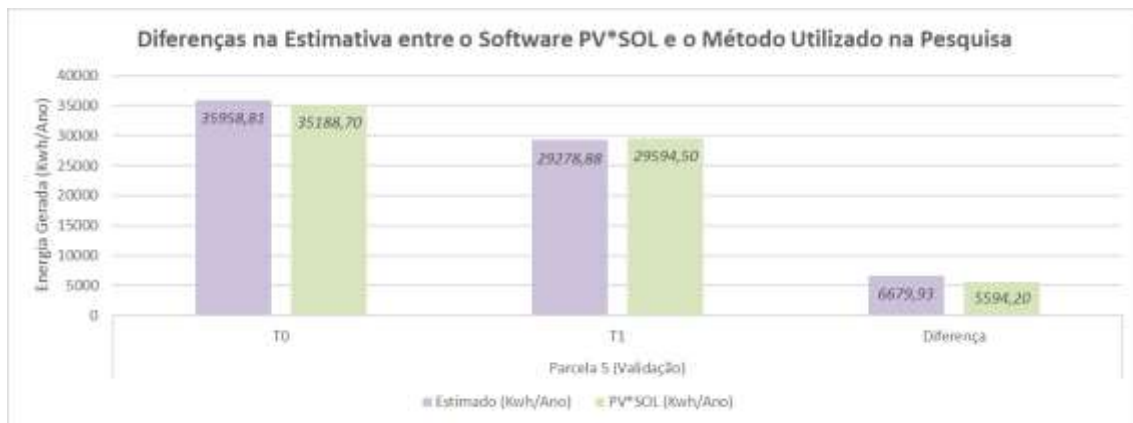
Mês	Parcela 5 (Validação)		
	T0	T1	Radiação Perdida
Estimado (Kwh/Ano)	35958,81	29278,88	6679,93
PV*SOL (Kwh/Ano)	35188,70	29594,50	5594,20
Diferença (Kwh/Ano)	770,11	-315,62	1085,73

Fonte: O Autor (2025).

A [Figura 30](#) demonstra de forma gráfica essa comparação em T0 e T1. As diferenças encontradas nas duas estimativas são de respectivamente 2,1% e -1,1%. Já a diferença encontrada na comparação da perda de potencial energético entre os dois métodos foi de 16,3%. Um dos fatores que mais

influenciou essa diferença mais elevada foi o fato de que a variação em T0 foi positiva e em T1 foi negativa, fazendo com que essas duas diferenças se somassem na comparação final.

Figura 30 - Comparação entre os valores estimados na pesquisa e os valores obtidos pelo software PV*SOL.



Fonte: O Autor (2025).

4 RESULTADOS

A aplicação da metodologia desenvolvida possibilitou a quantificação econômica das perdas de geração de energia solar causadas pelo sombreamento de uma nova edificação sobre imóveis vizinhos. A Tabela 4 demonstra os valores estimados em R\$ de perdas do potencial de geração energética ao longo de 30 anos.

Tabela 4 - Estimativa de valor do potencial de geração energética perdido pelas parcelas afetadas pela edificação estudada.

Parcela	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 5	Parcela 8	Parcela 9	Parcela 10
Soma (R\$/30 anos)	R\$6.294,35	R\$228,89	R\$124.653,59	R\$5.351,72	R\$4.944,95	R\$11.348,68

Fonte: O Autor (2025).

A análise considerou uma taxa de conversão de R\$ 0,68 por kWh, valor representativo do custo da energia elétrica na região e no período analisado. A partir dessa conversão, foi possível estimar os prejuízos econômicos gerados pelo sombreamento ao longo de um horizonte de 30 anos, revelando valores que variaram entre R\$ 228,89 (Parcela 2) e R\$ 124.653,59 (Parcela 5). As diferenças observadas entre as parcelas decorrem da orientação solar, da área útil disponível para instalação fotovoltaica e do grau de obstrução causado pela edificação projetada. Ao traduzir o impacto solar em valores monetários objetivos, a metodologia proposta oferece subsídios técnicos para embasar decisões em processos de licenciamento urbano e Estudos de Impacto de Vizinhança (EIV), além de fomentar a adoção de políticas compensatórias e diretrizes solares mais justas no âmbito do planejamento territorial.

4.1 ESTUDO DE CASO

O objetivo do presente estudo de caso é a demonstração e teste da aplicabilidade da metodologia desenvolvida em uma situação real. Uma condição buscada na escolha do local para o estudo de caso foi a procura por empreendimentos que ainda não tivessem sido fisicamente construídos, dessa

forma simulam-se com mais clareza as etapas necessárias para a realização da quantificação do potencial de geração de energia solar perdido.

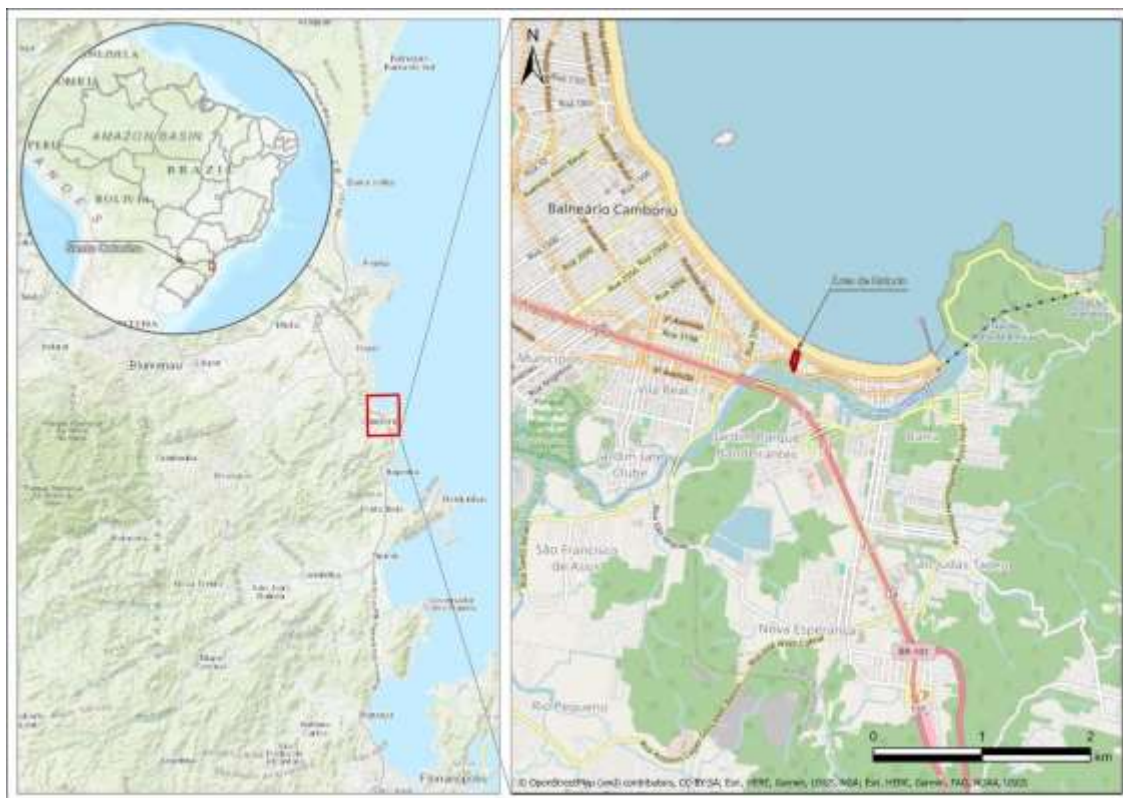
4.1.1 Área de Estudo

A área de estudo foi escolhida com base em um conjunto de fatores. Primeiramente, a cidade de Balneário Camboriú é amplamente conhecida por seus edifícios de grande altura e pelas sombras que projetam sobre o ambiente urbano e a faixa costeira (Aguiar, 2017; Castro et al., 2018; Furlan; Carvalho; Cartana, 2016). Além disso, o edifício objeto deste estudo destaca-se no horizonte urbano existente, excedendo em pelo menos 200 metros a altura da estrutura mais elevada da cidade na atualidade (2025). Essa diferença substancial amplia seu potencial de impacto, tornando-o um caso representativo e pertinente para ilustrar a pesquisa. Por fim, um fator essencial na escolha da área de estudo foi a disponibilidade de dados relativamente atualizados fornecidos pelo município.

A Figura 31 apresenta a localização da área de estudo na cidade de Balneário Camboriú, situada no estado de Santa Catarina, Brasil. De acordo com dados de IBGE (2010), Balneário Camboriú possui uma área de 45,214 km², uma população de 139.155 habitantes e uma densidade populacional de 3.077,70 habitantes/km². A região caracteriza-se por um clima subtropical úmido (Cfa), com precipitação abundante e bem distribuída ao longo do ano, e temperatura média superior a 22 °C no mês mais quente (EMBRAPA, 2025).

A cidade é um dos principais destinos turísticos do país, especialmente durante as celebrações de ano novo e feriados. De acordo com o Ministério do Turismo, mais de 2 milhões de visitantes foram registrados na passagem de ano de 2024 para 2025 (Ministério do Turismo, 2025).

Figura 31 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: O Autor (2025).

As projeções de sombra dos edifícios sobre a orla motivaram a realização de obras de engordamento da faixa de areia, com o objetivo de aumentar a área de lazer e o tempo de exposição ao sol. A obra, realizada em 2021, ampliou a faixa de areia em 60 metros, proporcionando até 2 horas adicionais de exposição solar em determinados períodos do ano (EPAGRI, 2023). Contudo, a projeção de sombra não ocorre apenas na orla marítima, gerando perdas também para os moradores das edificações do entorno, que são o foco deste estudo.

As seções subsequentes descrevem os métodos e as fontes de dados utilizadas no processamento, bem como os procedimentos adotados para garantir que os parâmetros selecionados refletissem a variabilidade climática local, resultando no cálculo da perda potencial de geração de energia devido à presença do novo edifício.

2. Fontes de Dados

Foram utilizados apenas dados de acesso público para a aplicação do estudo de caso. Para a etapa de calibração dos parâmetros meteorológicos, os dados históricos de radiação foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram coletados na estação meteorológica A868, localizada no município vizinho de Itajaí. O modelo digital de superfície, disponibilizado pelo Governo do Estado de Santa Catarina, com dados coletados em 2012, também foi utilizado para fins de calibração.

Para a simulação da radiação incidente na área de estudo, foram utilizados dados obtidos em 2018 e fornecidos pelo Município de Balneário Camboriú. O município disponibilizou ortofotos e a nuvem de pontos obtida por levantamento aéreo com *laser scanner*. A localização, as dimensões e a altura máxima do edifício foram obtidas em informações disponibilizadas pela construtora à época da pesquisa. Os polígonos das parcelas e a disposição dos módulos fotovoltaicos projetados, bem como seus respectivos códigos, foram gerados de forma fictícia pelo autor.

3. Calibração Meteorológica

A etapa inicial do estudo consistiu na calibração dos parâmetros meteorológicos, com o objetivo de estabelecer o conjunto ótimo de parâmetros a ser utilizado para cada mês do ano na região estudada. O método utilizado para a calibração foi o mesmo demonstrado no item 3.5 do presente documento.

A estação meteorológica selecionada (A868) para o processo de calibração é gerida pelo INMET e localiza-se no município de Itajaí, Santa Catarina, aproximadamente a 15,6 km em linha reta da área de estudo, conforme mostrado na Figura 32. Os dados históricos da estação A868 estão disponíveis a partir de 2010. Contudo, foi aplicado um filtro para incluir apenas os anos sem interrupções significativas nas medições de radiação. Após esse processo, foi possível obter 9 anos completos de dados de radiação.

Figura 32 - Localização da Estação Meteorológica (A868).



Fonte: O Autor (2025).

A [Figura 33](#) apresenta os valores de radiação obtidos em cada simulação, comparados aos valores coletados pela estação meteorológica. Essa análise é fundamental para verificar se a faixa de valores coletados está contida dentro da faixa de valores simulados, garantindo a representatividade da simulação.

Figura 33 - Gráfico dos valores simulados comparados com os valores reais (em vermelho). Ambos obtidos na área da estação meteorológica.



Fonte: O Autor (2025)

Comparando-se os valores médios mensais coletados, foi possível determinar quais parâmetros deveriam ser utilizados para cada mês do ano. O Quadro 3 mostra os resultados obtidos a partir dessa comparação. Na última coluna, é possível verificar os parâmetros responsáveis pela simulação que melhor representa os valores reais para cada mês do ano, os quais foram utilizados na etapa de cálculo.

Quadro 3 - Comparação mensal entre dados reais da estação meteorológica e a melhor simulação obtida pelo modelo testado.

Mês	Estação Meteorológica (Média de Kwh/mês)	Melhor Valor Simulado (Média de Kwh/mês)	Diferença entre Estação Meteorológica e Melhor Valor Simulado (%)	Parâmetro Escolhido
Janeiro	181,31	179,09	1,2%	D7T3
Fevereiro	150,02	152,37	1,5%	D3T5
Março	139,62	136,68	2,2%	D3T5
Abril	114,03	114,14	0,1%	D6T4
Mai	86,98	87,01	0,0%	D4T5
Junho	76,77	76,25	0,7%	D2T6
Julho	82,43	80,46	2,4%	D4T5
Agosto	104,02	106,66	2,5%	D6T4
Setembro	108,38	110,47	1,9%	D2T5
Outubro	127,36	130,04	2,1%	D4T4
Novembro	146,33	141,57	3,4%	D4T4
Dezembro	171,24	174,30	1,8%	D3T5

Fonte: O Autor (2025).

4.1.4 Quantificação da Perda Potencial de Energia

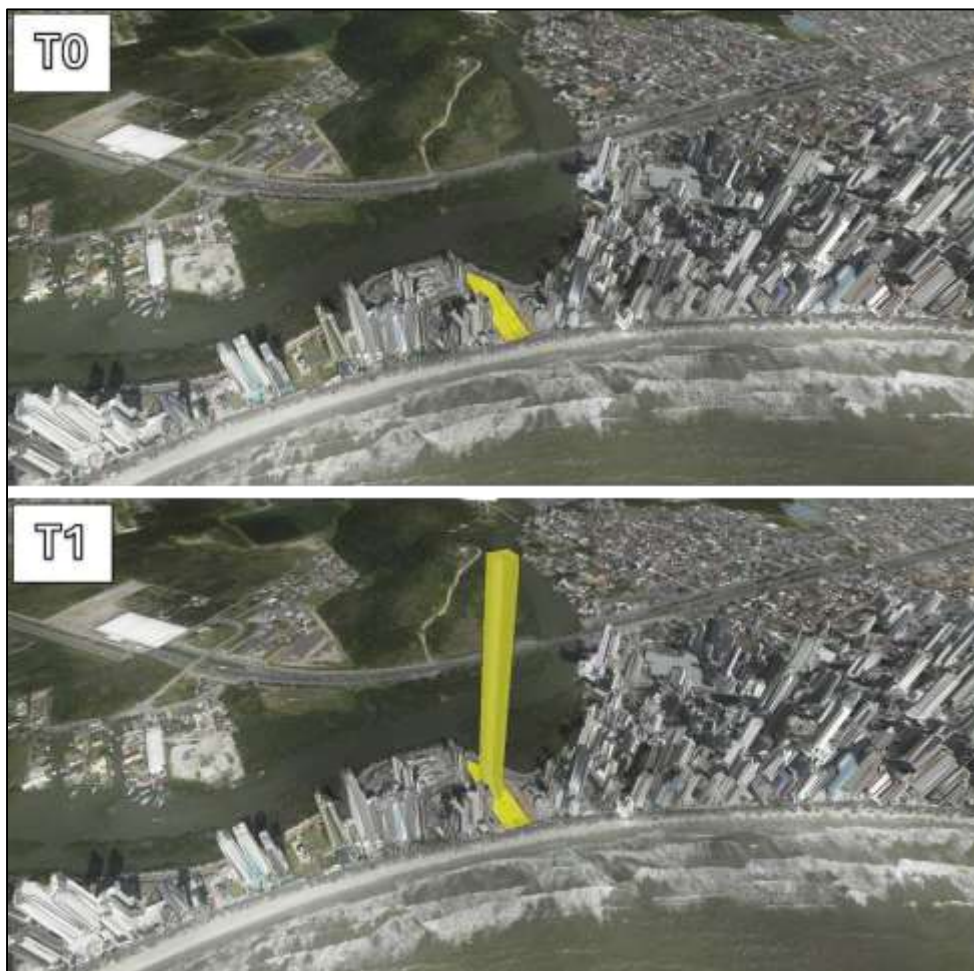
Antes de iniciar a etapa de quantificação, foi necessário criar e estruturar os dados requeridos. Conforme mencionado anteriormente, os dados altimétricos foram fornecidos na forma de nuvem de pontos, obtida através de levantamento aerotransportado por laser (LiDAR). A partir da nuvem de pontos, foi possível gerar o Modelo Digital de Superfície (MDS) em formato raster com resolução espacial de 0,5 metros, utilizando o software Global Mapper.

As parcelas e os painéis fotovoltaicos foram vetorizados utilizando o MDS sombreado e imagens aéreas para identificar aplicações e possibilidades de instalação do painel FV. As parcelas foram delimitadas vetorizando limites identificáveis em foto. Para a vetorização dos painéis fotovoltaicos foi utilizado o mesmo módulo de referência citado no item 3.6, que tem dimensões de 1,13 m

por 2,27 m. Cada painel é composto por um conjunto de módulos organizados para ocupar a maior área possível do telhado, considerando todas as localizações viáveis de instalação. Foi realizada uma análise visual individual de cada edificação para identificar os locais mais adequados.

Para calcular a diferença de radiação incidente em um dado local, devem ser realizados dois cálculos, que diferem apenas pela presença ou ausência do edifício estudado. No caso do objeto de estudo selecionado, o edifício ainda não existe no MDS disponibilizado, sendo necessária sua inserção manual. Para adicionar essa edificação ao modelo digital, é imprescindível conhecer sua localização, dimensões horizontais e altura. Embora esses dados não estejam publicamente disponíveis de forma precisa, por meio das informações e renderizações divulgadas até o momento, foi possível determinar as dimensões aproximadas do empreendimento. Para fins de diferenciação dos dois momentos estudados, o MDS sem o edifício foi definido como T0 (tempo inicial) e o MDS com o edifício como T1 (após construção), conforme ilustrado na [Figura 34](#).

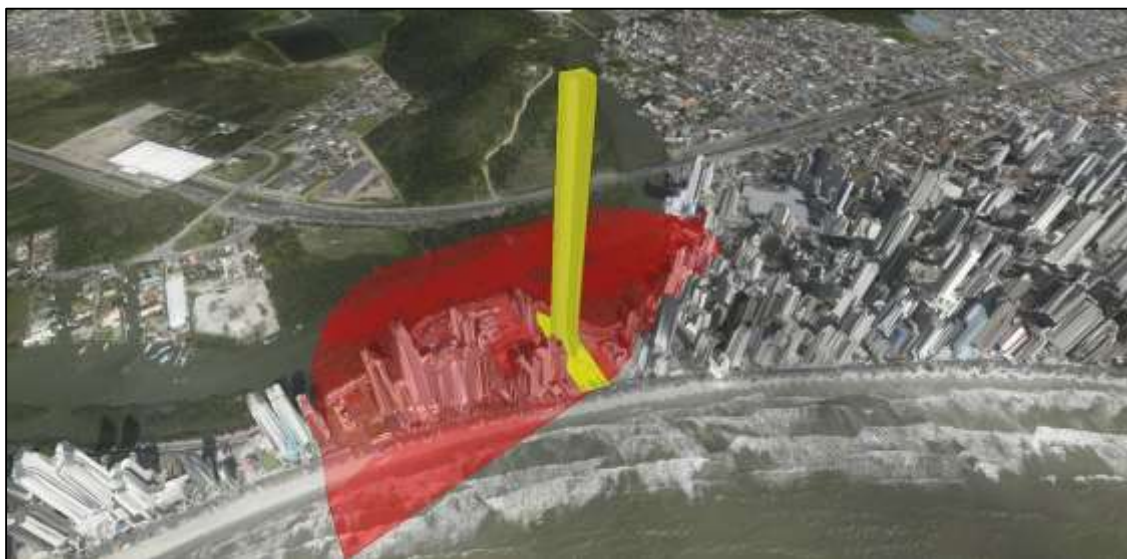
Figura 34 - MDS nas duas condições observadas (T0 e T1). Na imagem T0 a parcela está destacada em amarelo e na imagem T1 a edificação está destacada na mesma cor.



Fonte: O Autor (2025)

Após a inserção do edifício no modelo tridimensional, foi aplicado o algoritmo desenvolvido no item 3.3 para a definição da área afetada. Esta área foi determinada utilizando o Modelo Digital de Terreno (MDT), quantificando-se a região que apresentou alteração significativa na radiação solar após a inserção do edifício. Posteriormente, esse polígono foi utilizado para identificar as parcelas de terreno afetadas pela sombra causada pelo novo empreendimento. A Figura 35 mostra o edifício e a área afetada destacada em vermelho.

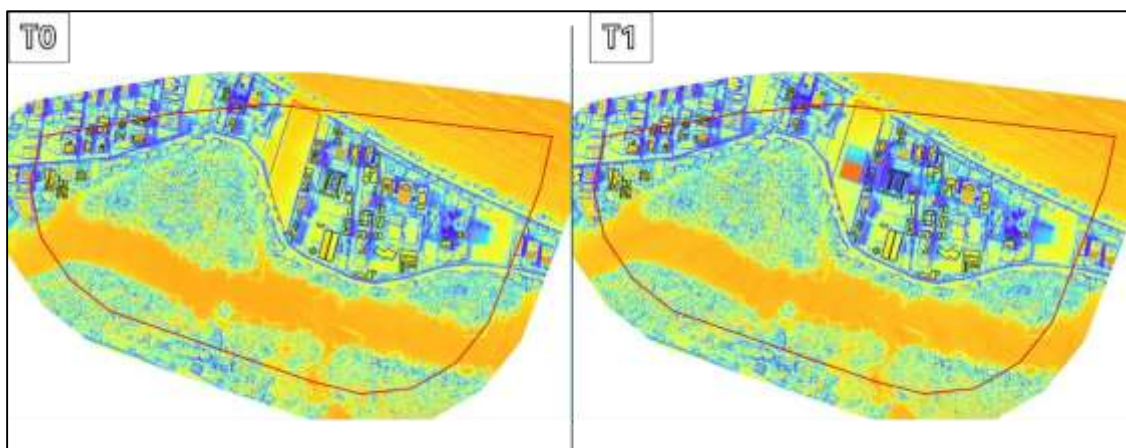
Figura 35 - Área afetada (em vermelho) definida pela sombra gerada pelo novo empreendimento.



Fonte: O Autor (2025)

De posse de todas as informações necessárias para o cálculo da diferença de radiação, a fase de processamento pôde ser iniciada. Para realizar esse cálculo, foram utilizados os algoritmos desenvolvidos no item [3.7](#). O resultado desse processamento é apresentado na [Figura 36](#).

Figura 36 - Incidência de radiação calculada nas duas condições (T0 e T1).



Fonte: O Autor (2025)

Os valores de eficiência do painel de referência foram aplicados aos resultados da radiação incidente para cada painel, e posteriormente agregados para que o resultado representasse o valor total da perda potencial de geração

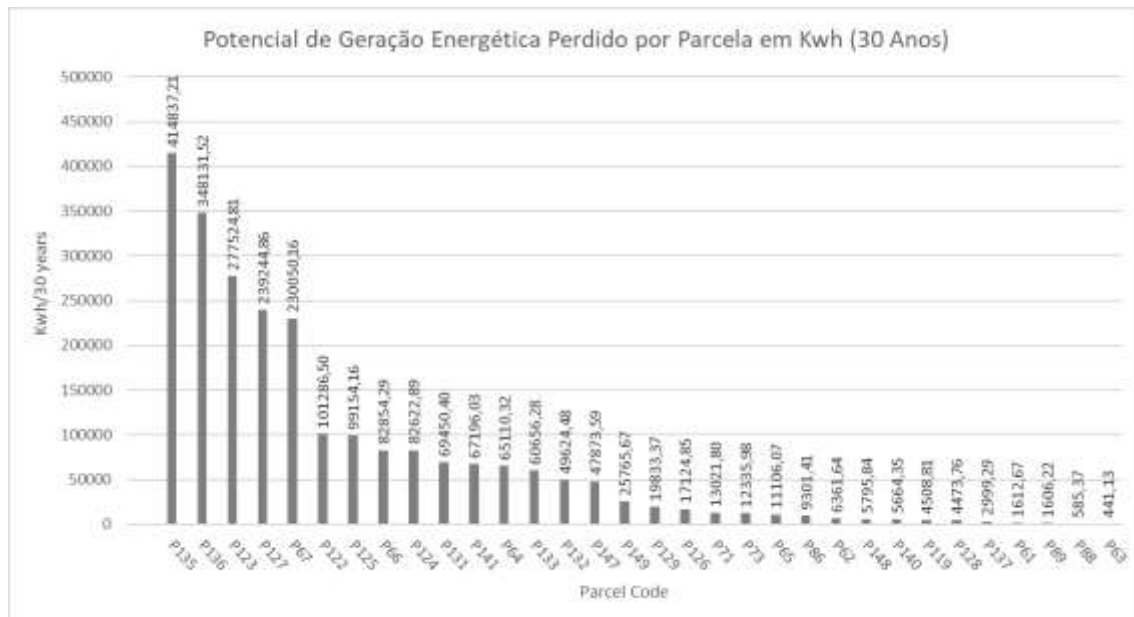
de energia ao longo de 30 anos, para cada parcela afetada pelo novo empreendimento.

Neste estudo, a quantificação da perda do potencial de geração de energia solar causada pelo empreendimento, considerando os parâmetros deste estudo, totalizou 2.378.155,78 kWh.

Considerando a condição cadastral, a quantificação da perda de radiação foi realizada por parcela. A partir disso, observaram-se três variáveis principais que podem influenciar a quantificação da perda de radiação: a proximidade da parcela afetada em relação ao empreendimento; a quantidade de área disponível no telhado para instalação de painéis fotovoltaicos; e a posição geográfica da parcela em relação ao empreendimento, considerando o percurso do sol.

A Figura 37 apresenta a quantidade de radiação perdida por parcela, em formato gráfico, representando a quantidade de energia que poderia potencialmente ser gerada pelos edifícios afetados, caso fossem utilizados para a captação de energia solar. Com base nessas informações, é possível calcular a perda financeira potencial causada pelas sombras. Para realizar esse cálculo, é necessário conhecer o preço cobrado pela concessionária de energia na região analisada. Para fins ilustrativos, foi utilizado um valor médio de R\$ 0,68 por kWh de energia gerada, resultando em uma perda potencial total estimada de R\$ 1,6 milhões, considerando todas as parcelas afetadas.

Figura 37 - Gráfico mostrando o potencial de geração energética perdido por parcela em 30 anos.



Fonte: O Autor (2025).

A [Figura 38](#) exibe um mapa com as cores das parcelas representando a quantidade de energia potencial perdida, identificando cada parcela afetada.

Figura 38 - Mapa representando o potencial de radiação perdido por parcela colorizado pela quantidade.



Fonte: O Autor (2025).

Conforme mencionado anteriormente e confirmado pela análise do mapa, verifica-se a influência das três variáveis na quantificação da perda de radiação. As parcelas P135 e P123 apresentam valores significativos de radiação perdida, muito influenciados por suas grandes áreas de cobertura utilizáveis, enquanto parcelas diretamente adjacentes ao novo empreendimento, embora possuam períodos de sombra mais longos, resultam em perdas absolutas menores devido às suas áreas de cobertura reduzidas, como as parcelas P64, P65, P66, P67 e P141.

5 ANÁLISES E DISCUSSÃO

A sombra projetada por novas construções pode impactar significativamente o desempenho de sistemas fotovoltaicos. Além disso, essa interferência influencia diretamente a eficiência energética das edificações afetadas (Pereira et al., 2016), o conforto térmico (Fernandes e Masiero, 2020) e a qualidade ambiental dos espaços (Moro et al., 2021). Para mitigar os efeitos negativos do sombreamento urbano, diversas cidades ao redor do mundo implementaram regulamentações que visam proporcionar um ambiente urbano mais equilibrado.

Compreender e quantificar as perdas de energia solar resultantes de novas construções é uma etapa importante para o desenvolvimento de um planejamento urbano sustentável e a promoção de cidades mais eficientes energeticamente. Um exemplo histórico relevante é a Resolução de Zoneamento da Cidade de Nova Iorque (*New York Zoning Resolution*), estabelecida em 1916, que definiu recuos e restrições de altura para edifícios a fim de evitar o sombreamento excessivo nas ruas. Essa legislação representou um passo pioneiro na regulamentação da relação entre construção e acesso à luz solar. Em São Francisco, a *Sunlight Ordinance*, criada em 1984 e atualizada em 2015, foi desenvolvida para preservar o acesso à luz solar em espaços públicos e privados, refletindo a crescente preocupação com a perda de luz natural nas áreas urbanas. No estado de Victoria, Austrália, o *Victorian ResCode* estabelece diretrizes que impedem o sombreamento excessivo sobre propriedades vizinhas, protegendo tanto a iluminação natural quanto a geração de energia solar.

No Brasil, algumas cidades adotaram regulamentações específicas para tratar do sombreamento urbano. Em Vila Velha, no estado do Espírito Santo, há uma regulamentação (Lei Complementar N° 65 de Novembro de 2018) que proíbe edificações de projetarem sombras sobre a praia antes das 16 horas, garantindo melhor insolação para os frequentadores. Em Curitiba, a permissão para construção de edifícios mais altos suscitou preocupações, levando à realização de estudos que destacam a importância de considerar o sombreamento no planejamento urbano (Hilgert et al., 2019; Moro et al., 2021; Seratiuk, 2016; Tamura; Kruger, 2014). Esses exemplos ilustram como

diferentes contextos urbanos buscaram soluções para minimizar os impactos das sombras no ambiente construído.

A relação entre sombreamento e condições cadastrais também constitui um fator relevante a ser discutido. Em diversas situações, propriedades podem sofrer desvalorização devido a alterações realizadas em lotes vizinhos. O direito de acesso à luz solar é reconhecido em várias jurisdições como um princípio fundamental para assegurar a qualidade de vida e a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos. Nos Estados Unidos, por exemplo, existem legislações que protegem os painéis solares de interferências externas, como o *Solar Rights Act* da Califórnia (Anders et al., 2014), o Estatuto de Minnesota, Seção 500.30, e a Legislação do Kansas, Cap. 58, Art. 38. No Reino Unido, o “*Right to Light*” de 2014 é uma legislação que garante que, em determinadas situações, edificações que recebam luz natural por um determinado período não possam ser privadas dela sem compensação.

A ausência de regulamentações claras sobre o impacto do sombreamento nos registros cadastrais pode gerar disputas imobiliárias e dificuldades na comprovação de danos causados por construções vizinhas. A pesquisa realizada por Moro et al. (2021) que analisou o impacto do sombreamento de edifícios altos sobre espaços públicos em Curitiba, destacou a necessidade de tais estudos no ambiente urbano para orientar o desenvolvimento sustentável das cidades, assegurando o bem-estar de seus habitantes. Além disso, em Curitiba, o estudo de Campos (2014) discutiu a influência do sombreamento causado por edificações na zona central da cidade, enfatizando a necessidade de mensurar o impacto energético sobre edifícios afetados pela sombra de outras estruturas.

Diante do crescimento das cidades e do adensamento dos centros urbanos, é de grande importância que os registros cadastrais incorporem informações sobre a incidência solar e os potenciais impactos do sombreamento na valoração das propriedades. Tecnologias como o sensoriamento remoto e a modelagem tridimensional podem ser utilizadas para mapear áreas mais suscetíveis a perdas solares e apoiar decisões de planejamento urbano que minimizem danos ou forneçam compensações justas aos afetados. Ao integrar esses dados nos processos de licenciamento e nos estudos de impacto de

vizinhança, os municípios podem adotar medidas preventivas, assegurando que novos empreendimentos sejam concebidos para reduzir os impactos negativos sobre as propriedades vizinhas e sobre a eficiência energética urbana.

Embora o EIV costume focar em aspectos como fluxo de tráfego, poluição sonora e impacto ambiental, a avaliação da perda de radiação solar devido ao sombreamento ainda permanece um fator negligenciado em muitas regulamentações urbanas. Os resultados deste estudo enfatizam a importância de incorporar análises de impacto energético nos requisitos do EIV municipal, garantindo que novas edificações não comprometam o potencial energético de propriedades adjacentes, ou que sejam estabelecidos regulamentos que promovam compensações justas por esse potencial perdido. À medida que as cidades continuam a crescer verticalmente, atualizar os critérios do EIV para incluir direitos solares e considerações de eficiência energética é essencial para fomentar ambientes urbanos sustentáveis e resilientes.

Atualmente, o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) é exigido apenas para empreendimentos de maior porte, cujos efeitos sobre o entorno são considerados significativos. Assim, muitas construções de médio e pequeno porte, embora também possam gerar impactos relevantes, como o sombreamento de edificações vizinhas, não são submetidas a esse tipo de análise. Essa limitação compromete a capacidade de mitigar prejuízos energéticos e ambientais que, embora menos visíveis, afetam diretamente o conforto e a sustentabilidade urbana.

Para que a perda de radiação solar passe a ser efetivamente considerada no processo de licenciamento urbano, é necessário reconhecê-la como um parâmetro urbanístico formal. A exemplo da cota verde adotada por alguns municípios, pode-se propor um modelo de compensação associado ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), no qual os imóveis afetados pelo sombreamento teriam descontos proporcionais à perda energética, enquanto as construções causadoras da sombra teriam acréscimos. Essa abordagem permitiria internalizar o impacto solar nos instrumentos de gestão territorial, incentivando práticas construtivas mais responsáveis e promovendo justiça espacial nas áreas urbanas.

5.1 ANÁLISE SWOT

A análise SWOT (também chamada de matriz FOFA) é um método de análise utilizado para avaliar os fatores internos (Forças e Fraquezas) e externos (Oportunidades e Ameaças) que incidem sobre uma organização, projeto ou atividade (Gürel; Tat, 2017). A matriz identifica os principais aspectos do ambiente competitivo de uma entidade, situando-a estrategicamente no mercado e fornecendo subsídios para o planejamento organizacional (Paulino et al., 2024). Em síntese, SWOT proporciona uma visão integrada do ambiente interno e externo, permitindo caracterizar a posição estratégica de uma empresa ou projeto (Gürel; Tat, 2017).

Segundo Benzaghta et al. (2021), a matriz SWOT tornou-se uma ferramenta-chave para o planejamento estratégico em empresas. Ao mapear forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, ela gera um diagnóstico situacional que orienta a definição de metas e estratégias. Em outras palavras, SWOT converte a avaliação do contexto competitivo em informações práticas para alinhar recursos internos às condições externas e aprimorar a formulação de estratégias empresariais (Benzaghta et al., 2021).

A elaboração da análise SWOT segue um processo estruturado. Primeiro define-se o escopo da análise (empresa, setor ou projeto) e coletam-se dados relevantes do ambiente interno e externo. Em seguida, gestores ou analistas listam os fatores internos (Forças e Fraquezas) e externos (Oportunidades e Ameaças) críticos para o contexto em questão (Da Silva et al., 2024).

A matriz SWOT é aplicável nas mais variadas áreas de pesquisa, sempre que houver uma implementação prática de uma metodologia específica. Alguns exemplos de aplicação podem ser citados na área de gestão hospitalar (Trifonova; Pramatarov, 2016), na área de turismo e meio ambiente na avaliação de potencial de sustentabilidade do parque nacional de Pahang na Malásia (Ahmad et al., 2024) e na área de educação e gestão escolar (Da Silva et al., 2024).

5.1.1 Matriz SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities and Threats*)

A análise SWOT realizada sobre a metodologia desenvolvida nesta pesquisa tem como objetivo refletir de forma estruturada sobre seu potencial de aplicação, suas limitações e os fatores externos que podem influenciar sua adoção e difusão no contexto do planejamento urbano e da gestão territorial. A matriz SWOT é uma ferramenta de avaliação estratégica amplamente utilizada para identificar fatores internos e externos que influenciam o desempenho ou a viabilidade de projetos, tecnologias ou políticas. No caso desta tese, a aplicação da matriz (Figura 39) permitiu não apenas reconhecer os méritos técnicos e científicos do método proposto, mas também situá-lo dentro de um panorama mais amplo que envolve políticas públicas, normativas urbanísticas e capacidades institucionais.

Figura 39 - Matriz SWOT de análise das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do método desenvolvido no trabalho.

FORÇAS (STRENGHTS) Proposta inovadora e inédita Quantificação precisa e econômica das perdas solares Integração entre SIG e EIV Validação confiável em software reconhecido Replicável e escalável para diferentes cidades	FRAQUEZAS (WEAKNESSES) Dependência de dados geográficos de alta qualidade Exige conhecimento técnico especializado Processamento intensivo Sem obrigatoriedade legal no Brasil Necessita infraestrutura tecnológica (<i>hardware</i>) adequada
OPORTUNIDADES (OPPORTUNITIES) Crescimento da energia solar no Brasil Discussão sobre justiça espacial e direito solar Adoção de políticas ODS e <i>smart cities</i> Inserção em planos diretores e códigos urbanos Uso como instrumento de compensação urbanística	AMEAÇAS (THREATS) Ausência de regulamentação sobre o direito solar Resistência do setor imobiliário Baixa capacidade técnica de muitas prefeituras Mudanças políticas e cortes em meio ambiente e sustentabilidade

Fonte: O Autor (2025).

Entre as principais forças (*strengths*) da metodologia, destaca-se sua natureza inovadora e original, especialmente no contexto brasileiro. A proposta de quantificar, de forma objetiva e economicamente mensurável, as perdas de

radiação solar representa um avanço significativo na gama de possíveis análises de impacto de uma nova edificação. A integração da metodologia com softwares amplamente utilizados em geotecnologia, como *ArcGIS Pro*, bem como sua validação com ferramentas especializadas como o *PV*SOL*, reforça sua robustez técnica e sua compatibilidade com fluxos de trabalho já consolidados no meio profissional e acadêmico.

Outra força fundamental da metodologia reside na sua aplicabilidade prática no Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), instrumento previsto pelo Estatuto da Cidade e exigido em diversos municípios brasileiros para empreendimentos de médio e grande porte. A possibilidade de incorporar dados concretos sobre a perda de radiação solar no entorno direto de uma nova edificação oferece subsídios técnicos para decisões mais justas e fundamentadas, além de permitir a proposição de mecanismos de compensação baseados em métricas reais. A adaptabilidade da ferramenta a diferentes contextos urbanos, aliada à sua capacidade de estimar perdas energéticas em valores monetários, confere-lhe uma flexibilidade que favorece tanto a replicação metodológica quanto a potencial institucionalização.

Contudo, a análise SWOT também revela fraquezas (*weaknesses*) importantes que precisam ser reconhecidas e consideradas na implementação da metodologia. Em primeiro lugar, sua aplicação depende fortemente da disponibilidade de dados geoespaciais de alta qualidade, como Modelos Digitais de Superfície (MDS) atualizados, vetores precisos das edificações e dados meteorológicos históricos localizados próximos a área de estudo. Em muitas cidades brasileiras, especialmente em municípios de médio e pequeno porte, a ausência, desatualização, fragmentação em órgãos diversos e a não padronização desses dados pode representar uma limitação significativa.

Além disso, a metodologia exige conhecimentos técnicos específicos em geoprocessamento, modelagem tridimensional e simulações solares, o que restringe sua aplicação imediata a profissionais ou instituições com domínio dessas ferramentas. O processamento computacional, sobretudo em áreas urbanas extensas e com elevada complexidade volumétrica, também pode demandar recursos de hardware e software não disponíveis em estruturas administrativas com baixa capacidade tecnológica. Por fim, a ausência de uma

obrigatoriedade legal que exija a realização de análises de sombreamento no licenciamento urbano compromete, ao menos por ora, a incorporação sistemática da metodologia nos procedimentos institucionais.

Apesar dessas fragilidades, o cenário atual apresenta oportunidades (*opportunities*) bastante favoráveis para a adoção e valorização da proposta desenvolvida. O Brasil tem ampliado significativamente sua capacidade instalada de geração de energia solar, consolidando-se como um dos principais mercados do mundo nesse setor. Nesse contexto, cresce a demanda por mecanismos que assegurem a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, especialmente em áreas urbanas densamente construídas. A metodologia apresentada nesta tese responde diretamente a essa demanda, ao oferecer uma forma técnica de proteger o acesso à radiação solar e quantificar prejuízos causados por obstruções.

Além disso, observou-se um avanço nas discussões sobre justiça espacial, sustentabilidade urbana, direito ao sol e governança energética. Nesse ambiente, a metodologia proposta se alinha a diretrizes contemporâneas, como as práticas ESG (*Environmental, Social and Governance*), as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as estratégias de cidades inteligentes. Sua inclusão como subsídio técnico em processos de licenciamento, compensações urbanísticas ou até mesmo em zoneamentos específicos pode representar uma resposta concreta e mensurável a essas agendas.

Por outro lado, algumas ameaças (*threats*) estruturais podem limitar ou retardar a adoção da metodologia em larga escala. A mais evidente diz respeito à ausência de uma regulamentação legal que reconheça formalmente o direito ao sol ou que estabeleça critérios técnicos para compensação de perdas energéticas causadas por sombreamento urbano. Em um cenário institucional marcado por lentidão na atualização de normativas e pela fragmentação de competências entre esferas de governo, a incorporação de novas metodologias enfrenta barreiras políticas e operacionais significativas.

Adicionalmente, é importante considerar a possível resistência do setor da construção civil e do mercado imobiliário, que podem interpretar a adoção de análises de sombreamento como um entrave ao adensamento urbano ou como

um elemento de aumento de custo no processo de licenciamento. Essa percepção, se não acompanhada de esclarecimentos técnicos e articulação institucional, pode dificultar a aceitação do método. Soma-se a isso a limitação técnica de muitas prefeituras brasileiras, que ainda operam com baixa capacidade analítica, pouca familiaridade com ferramentas de geotecnologia e escassez de pessoal qualificado. Esses fatores, combinados a possíveis mudanças nas diretrizes políticas e orçamentárias voltadas à sustentabilidade, constituem riscos reais para a institucionalização da proposta.

Em síntese, a análise SWOT realizada confirma que a metodologia desenvolvida nesta tese é tecnicamente sólida, inovadora e alinhada com tendências contemporâneas do urbanismo e da transição energética. Contudo, sua consolidação como ferramenta de apoio ao planejamento urbano dependerá de estratégias que enfrentem suas fragilidades operacionais e das condições políticas e institucionais de cada território. A capacidade de dialogar com agentes públicos, propor ajustes normativos e adaptar a metodologia à realidade local será fundamental para que sua adoção ultrapasse o campo experimental e se torne parte estruturante de uma nova lógica de avaliação do impacto urbano.

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a importância de quantificar a energia solar perdida devido ao sombreamento urbano, proporcionando subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas e regulamentações mais eficazes. Com o crescimento das cidades e a urgência por soluções sustentáveis, considerar os impactos do sombreamento deve tornar-se um critério essencial no desenvolvimento de novos projetos urbanos.

6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa desenvolveu com sucesso uma metodologia que realiza a quantificação da radiação solar perdida em decorrência da construção de novos edifícios no ambiente urbano, destacando os impactos significativos do sombreamento sobre o potencial de geração de energia solar das edificações vizinhas. A abordagem metodológica, baseada na quantificação calibrada da radiação utilizando ferramentas de geoprocessamento, permitiu a obtenção de resultados detalhados, demonstrando a relevância da análise tridimensional da cidade no planejamento urbano e na preservação do potencial energético solar.

Os resultados obtidos mostram que a magnitude da perda de radiação está diretamente relacionada a três fatores principais: a posição geográfica das parcelas afetadas em relação ao novo edifício; a distância entre as construções; e a área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos.

Embora já existam algumas legislações sobre os direitos solares em locais como Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Brasil, o tema ainda carece de regulamentações mais robustas. A ausência de critérios claros para avaliação dos impactos do sombreamento sobre edificações vizinhas pode gerar conflitos imobiliários e comprometer a viabilidade de investimentos em energia solar. Assim, este estudo pode servir de referência para futuras iniciativas legislativas e de planejamento urbano, incentivando a incorporação desses critérios na análise dos Estudos de Impacto de Vizinhança.

A compensação pelas perdas causadas pelo sombreamento surge como uma alternativa financeiramente viável e mais flexível em comparação à imposição de restrições severas à construção. A adoção de mecanismos compensatórios justos permite que os empreendedores assumam a responsabilidade pelo impacto gerado, reembolsando financeiramente os proprietários afetados ou investindo em medidas mitigadoras. Essa abordagem assegura um equilíbrio entre o crescimento urbano e a justiça energética, minimizando conflitos e estimulando soluções inovadoras para a coexistência harmoniosa entre novas edificações e o acesso à geração de energia solar.

Vale ressaltar que a perda no potencial de geração energética não é o único prejuízo causado pela sombra de edificações, vários outros fatores devem

ser considerados em uma possível compensação, como a saúde física e mental dos cidadãos e a eficiência energética dos edifícios, abrindo espaço para estudos que proponham métodos de quantificação nesses âmbitos.

A validação dos resultados com o software PV*SOL demonstrou uma diferença de 2,2% entre o método proposto e os valores de referência, comprovando a confiabilidade da metodologia aplicada.

Os métodos e procedimentos criados podem ser utilizados para realizar a quantificação em qualquer outra condição de ambiente construtivo, bastando apenas a obtenção dos dados tridimensionais com a qualidade necessária. Portanto, a abordagem proposta pode ser replicada em outras situações, permitindo uma análise preventiva dos impactos do sombreamento e contribuindo para decisões mais informadas no planejamento territorial.

Por fim, considerando a crescente adoção da tecnologia solar, estudos futuros devem explorar a influência do sombreamento sobre outras superfícies além das coberturas, como fachadas e áreas abertas. Os avanços nas técnicas de modelagem e simulação fornecerão suporte cada vez mais preciso para uma urbanização mais sustentável e energeticamente eficiente.

7 LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS DA PESQUISA

Diversos parâmetros devem ser considerados para realizar o cálculo da compensação pelo sombreamento. Por meio desta pesquisa, alguns desses parâmetros precisaram ser fixados para viabilizar o cálculo e a obtenção dos valores de radiação perdida. Um dos parâmetros considerados foi a duração do estudo. Estabeleceu-se que o cálculo deveria ser realizado para 30 anos, uma vez que este é o tempo de vida útil nominal de um módulo fotovoltaico. Aumentar ou diminuir esse período influencia diretamente o resultado obtido.

O número de módulos simulados em cada edificação também exerce influência significativa sobre os resultados. Neste aspecto, decidiu-se trabalhar com a simulação do número máximo possível de módulos instalados diretamente sobre a cobertura da edificação. Essa escolha foi feita para evitar subjetividade na projeção dos módulos, eliminando fatores como o número de módulos, o modelo do módulo instalado, e a localização e ângulo de instalação. Assim, considera-se plenamente a radiação potencialmente perdida do telhado afetado.

Outro parâmetro a ser considerado é a inclinação do telhado em relação ao cálculo realizado. Embora o cálculo utilize dados tridimensionais das edificações, a projeção dos painéis é realizada horizontalmente sobre o telhado. Portanto, quanto mais inclinada for a cobertura, maior será a discrepância entre a dimensão real do módulo fotovoltaico e a dimensão da projeção horizontal. No Brasil, em média, as coberturas possuem inclinação de cerca de 30°, o que gera uma distorção de aproximadamente 4% entre o valor projetado e a projeção tridimensional do módulo. Para esta pesquisa, esse valor foi desconsiderado. Contudo, em locais com inclinações de telhado mais acentuadas, este valor deve ser considerado e corrigido durante a projeção do painel no telhado, a fim de garantir resultados mais precisos.

Uma limitação adicional deste estudo é a suposição de estabilidade das condições atmosféricas ao longo do período analisado. A metodologia adotada presume que os parâmetros meteorológicos utilizados para a calibração permanecerão inalterados ao longo das três décadas. Contudo, fatores como mudanças climáticas, aumento da poluição atmosférica e variabilidade sazonal imprevisível podem afetar a transmissividade e a proporção difusa da radiação

solar, alterando a eficiência da geração fotovoltaica ao longo do tempo. A incorporação de modelos climáticos preditivos ou séries temporais de longo prazo poderia contribuir para uma estimativa mais robusta da perda potencial de radiação solar, reduzindo as incertezas associadas às flutuações ambientais futuras. Ademais, no que diz respeito às condições climáticas, é importante considerar a distância entre a estação meteorológica e a área de estudo. Quanto maior essa distância, menos representativa será a estação para a calibração da ferramenta.

É importante enfatizar que, embora as variáveis definidas influenciem os resultados calculados, elas não afetam o método de cálculo, que pode ser facilmente adaptado a diferentes cenários. A abordagem utilizada permite a incorporação de novos parâmetros, como variações na eficiência dos módulos fotovoltaicos, mudanças nas características construtivas das edificações e ajustes nos coeficientes de transmissão atmosférica ao longo do tempo. Assim, o modelo proposto mantém sua aplicabilidade mesmo diante de potenciais revisões nas regulamentações urbanas ou nas condições ambientais.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar; ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Solar Fotovoltáica no Brasil.** , 2025. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 1 jun. 2025

ACHBAB, E. *et al.* Estimation of photovoltaic potential at the urban level from 3d city model (solar cadaster): Case of casablanca city, morocco. *In*: ABDUL RAHMAN A.; RHINANE H. (orgs.). INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES - ISPRS ARCHIVES. **Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.** International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85134705268&doi=10.5194%2fisprs-archives-XLVI-4-W3-2021-9-2022&partnerID=40&md5=3cdaa31a9e097cbf4c17eccc2dd335ef>>

AGUIAR, Tatiana. **Geodesign como teoria de planejamento: a verticalização de Balneário Camboriú-SC.** PhD Thesis—[S.l.]: UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC, 2017.

AHMAD, B. E. *et al.* The Potential of Tourism Sustainability through SWOT Analysis: The Case study of Pahang National Park, Malaysia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1316, n. 1, p. 012007, 1 mar. 2024.

ANDERS, Scott *et al.* **California's Solar Rights Act A Review of the Statutes and Relevant Cases.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://ohp.parks.ca.gov/pages/1054/files/Solar%20Rights%20Act-A%20Review%20of%20Statutes%20and%20Relevant%20Cases.pdf>>.

ANTOCHEVIZ, Fabiana Bugs. The perceptions about urban planning legislation and its consequent verticalization process in a small coastal city according to different users of the urban space. **Sociology International Journal**, v. 9, n. 1, p. 5–10, 17 jan. 2025.

APPELBAUM, J.; BANY, J. Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems. **Solar Energy**, v. 23, n. 6, p. 497–507, 1979.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, nov. 2017.

ATALLAH, Alvaro Nagib; CASTRO, Aldemar Araujo. Revisão Sistemática da Literatura e Metanálise. 1998.

BELÚCIO, Liana Pereira *et al.* Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 494–504, dez. 2014.

BENZAGHTA, Mostafa Ali *et al.* SWOT analysis applications: An integrative literature review. **Journal of Global Business Insights**, v. 6, n. 1, p. 55–73, mar. 2021.

BILJECKI, Filip; LEDOUX, Hugo; STOTER, Jantien. An improved LOD specification for 3D building models. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 59, p. 25–37, set. 2016.

BITTENCOURT, Armando Augusto Coelho Da Silva *et al.* PANORAMA DAS ARTICULAÇÕES ENTRE O ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA SOB DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 17121–17136, 21 dez. 2024.

BRANDT, Daniele Batista. O DIREITO À CIDADE EM HENRI LEFEBVRE E DAVID HARVEY: DA UTOPIA URBANA EXPERIMENTAL À GESTÃO DEMOCRÁTICA DAS CIDADES. *In*: XVI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES EM SERVIÇO SOCIAL. **Anais...** Vitória - ES: 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. , 1988.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**. , 2001.

CAMACHO, P. H. T.; SANTIAGO, V. M. R.; SARMIENTO, C. J. S. Semi-Automatic generation of an lod1 and lod2 3d city model of tanauan city, batangas using openstreetmap and taal open lidar data in qgis. *In*: PRINCIPE J.A.; ANG M.R.C.O.; RAMOS R.V. (orgs.). INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES - ISPRS ARCHIVES. **Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.** International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2021. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85122311297&doi=10.5194%2fisprs-Archives-XLVI-4-W6-2021-77-2021&partnerID=40&md5=93092e57272802ccd4a468dbf8ca2611>>

CAMERINI, Caio de Paula; CARRIÇO, José Marques. Estudo de Impacto de Vizinhança: A localização dos empreendimentos e o uso das suas medidas mitigatórias e compensatórias em Santos/SP. **Revista Brasileira de Direito Urbanístico | RBDU**, p. 185–214, 19 dez. 2023.

CAMPOS, Giovana de Almeida Coelho. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO CAUSADO PELOS EDIFÍCIOS NA ZONA CENTRAL DE CURITIBA**. PhD Thesis—[S.l.]: UTFPR \ PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE, 2014.

CARDOSO, GT; MOSCARELLI, F.; VIANNA, SD. SOLAR ENVELOPE AS AN URBAN PLANNING TOOL: A CASE STUDY IN PASSO FUNDO / RS, BRAZIL. **ARQUITETURA REVISTA**, v. 17, n. 2, p. 296–318, jul. 2021.

CASTRO, Leonarda Feitosa Cajuaz. **PROPOSIÇÃO CONCEITUAL DE REGULAMENTAÇÃO DE INCENTIVOS À GERAÇÃO FOTOVOLTAICABASEADA EM IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS**. CENTRO

DE TECNOLOGIA, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2024.

CASTRO, Marina Magalhães De *et al.* CO-DESIGN volume Parametric Modeling as an Alternative Tool for Planning and Management of the Urban Landscape in Brazil-Case Study of Balneario Camboriu Modelagem Paramétrica como Ferramenta Alternativa de Planejamento e Gestão da Paisagem Urbana no Brasil-Estudo de Caso de Balneário Camboriú. jun. 2018.

CHEN, Derek; GAO, Grace Xingxin. Probabilistic graphical fusion of LiDAR, GPS, and 3D building maps for urban UAV navigation. **NAVIGATION**, v. 66, n. 1, p. 151–168, jan. 2019.

CHEN, Z. *et al.* 3D model-based terrestrial laser scanning (TLS) observation network planning for large-scale building facades. **Automation in Construction**, v. 144, 2022.

CHOKHACHIAN, Ata *et al.* Urban performance and density: Generative study on interdependencies of urban form and environmental measures. **Sustainable Cities and Society**, v. 53, p. 101952, fev. 2020.

CHUEKE, Gabriel Vouga; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**, v. 10, n. 2, p. 1–5, 9 set. 2015.

CHUERUBIM, Maria Lígia. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NA SUPERFÍCIE TERRESTRE COM BASE NO CÁLCULO DA IRRADIÂNCIA PARA DIFERENTES LATITUDES. 2012.

COSTA, Talita Stael Pimenta Da Silva; CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório. Modelagem de Cadastro 3D de Edifícios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1177–1205, 15 dez. 2018.

DA SILVA, Júlio César Câmelo *et al.* Análise SWOT como Ferramenta Eficaz na Avaliação das Ações da Gestão Escolar. **Revista Científica Multidisciplinar O Saber**, v. v.1, 2024.

DE LOLLO, José Augusto; RÖHM, Sérgio Antonio. ASPECTOS NEGLIGENCIADOS EM ESTUDOS DE IMPACTO DE VIZINHANÇA. 2005.

DE MAGALHÃES, Danilo Marques; MOURA, Ana Clara Mourão. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO MODELO TRIDIMENSIONAL DE UMA EDIFICAÇÃO GERADO POR UM MICRO VANT. 2018.

DINIZ, Maria Ingridy Lacerda *et al.* Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 3: Congestas 2015. **CÓDIGO DE OBRAS: UM ESTUDO DA FERRAMENTA PARA RETER OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS CIDADES**, v. 3, 2015.

EICKER, Ursula; TERECl, Aysegül; KESTEN, Dilay. Energy Performance of Buildings in Urban Areas. 2010.

EMBRAPA, Brazilian Company of Agricultural Research-. **Climate**. , 2025. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>

EPAGRI. Imagens de satélite mostram que alargamento da praia em Balneário Camboriú resultou em duas horas a mais de sol, em média. jan. 2023.

ESPI, Mariano Vásquez. Una brevísima historia de la arquitectura solar. **Ciudades para un Futuro más Sostenible**, v. 9, 1999.

ESRI, Environmental Systems Research Institute-. **Raster Solar Radiation (Spatial Analyst)**. , 2025. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/raster-solar-radiation.htm>>

FALAVIGNA, Maicon. **O que são Revisões Sistemáticas**. , 2018. Disponível em: <<https://www.htanalyze.com/blog/o-que-sao-revisoes-sistematicas/>>. Acesso em: 12 set. 2023

FERNANDES, Maria Eugênia; MASIERO, Érico. Relationship between outdoor thermal comfort and Local Climate Zones. **Urbe**, v. 12, 2020.

FUENTES, J. E.; MOYA, F. D.; MONTOYA, O. D. Method for estimating solar energy potential based on photogrammetry from unmanned aerial vehicles. **Electronics (Switzerland)**, v. 9, n. 12, p. 1–21, 2020.

FURLAN, Katuana Varela; CARVALHO, Carolina Rocha; CARTANA, Rafael Prado. Avaliação da insolação e distribuição da radiação solar no ambiente urbano de Balneário Camboriú. *In*: SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN URBANISMO. **VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú, Junio 2016**. Curso de Arquitetura e Urbanismo. Universidade do Vale do Itajaí, maio 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2117/100519>>. Acesso em: 13 jun. 2025

GRAEML, Alexandre Reis; MACADAR, Marie Anne. Análise de citações utilizadas em ADI: 10 Anos de anais digitais do enanpad (1997-2006). **Revista de Administração Contemporânea**, v. 14, n. 1, p. 122–148, fev. 2010.

GÜNERALP, Burak *et al.* Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 34, p. 8945–8950, 22 ago. 2017.

GUO, Q. *et al.* Application of UAV tilt photogrammetry in 3D modeling of ancient buildings. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEM ASSURANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 13, n. SUPPL 1, p. 424–436, mar. 2022.

GÜREL, Emet; TAT, Merba. SWOT ANALYSIS: A THEORETICAL REVIEW. **Journal of International Social Research**, v. 10, n. 51, p. 994–1006, 30 ago. 2017.

HAN, J. *et al.* Urban Scene LOD Vectorized Modeling from Photogrammetry Meshes. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 30, p. 7458–7471, 2021.

HILGERT, D. P. *et al.* **ESTUDO DE CASO COM ANÁLISE DE SOMBREAMENTO E MODELAGEM DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CENTRO COMERCIAL.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://utfpr-ct-static-content.s3.amazonaws.com/utfpr.curitiba.br/wp-content/uploads/sites/85/2019/12/artigo_eriatic.pdf>.

HUANG, J. *et al.* City3D: Large-Scale Building Reconstruction from Airborne LiDAR Point Clouds. **Remote Sensing**, v. 14, n. 9, 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Population Characteristics - Balneário Camboriú.**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/balneario-camboriu/pesquisa/23/25888>>. Acesso em: 1 maio. 2025

IEA, International Energy Agency. Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. 2021.

IEA, International Energy Agency. **Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027.**, 6 dez. 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027>>. Acesso em: 27 out. 2023

KAUSIKA, Bala; VAN SARK, Wilfried. Calibration and Validation of ArcGIS Solar Radiation Tool for Photovoltaic Potential Determination in the Netherlands. **Energies**, v. 14, n. 7, p. 1865, 27 mar. 2021.

KETTLES, C. M. Solar rights and solar access laws: An overview. *In*: AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY - SOLAR 2008, INCLUDING PROC. OF 37TH ASES ANNUAL CONF., 33RD NATIONAL PASSIVE SOLAR CONF., 3RD RENEWABLE ENERGY POLICY AND MARKETING CONF.: CATCH THE CLEAN ENERGY WAVE. **Am. Sol. Energy Soc. - SOLAR, Incl. Proc. ASES Annu. Conf., Natl. Passive Sol. Conf., Renew. Energy Policy Mark. Conf.: Catch.** 2008. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84868612196&partnerID=40&md5=480f829376df9a1aa506faa707ebdbc6>>

KHAN, J.; ARSALAN, M. H. Estimation of rooftop solar photovoltaic potential using geo-spatial techniques: A perspective from planned neighborhood of Karachi - Pakistan. **Renewable Energy**, v. 90, p. 188–203, 2016.

KNOWLES, R. L. The solar envelope: Its meaning for energy and buildings. **Energy Build.**, v. 35, p. 15–25, 2003.

KNOWLES, Ralph L. **Sun Rythm Form.** Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

KOLIBAROV, N. *et al.* Roof Segmentation Towards Digital Twin Generation in LoD2+ Using Deep Learning. *In*: ILIEVA S. (org.). IFAC-PAPERSONLINE. **IFAC-PapersOnLine.** Elsevier B.V., 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85142262941&doi=10.1016%2fj.ifacol.2022.08.068&partnerID=40&md5=516b57eb1360b60cdfd7b6507abcbccf>>

LARANJA, Andréa Coelho; GAZZANEO, Luiz Manoel C.; CABÚS, Ricardo C. REGULAMENTAÇÕES URBANAS E EDILÍCIAS: CONSIDERAÇÕES SOB O ASPECTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS. *In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais...* Natal: 2009.

LAUERMANN, John. Vertical Gentrification: A 3D Analysis of Luxury Housing Development in New York City. **Annals of the American Association of Geographers**, v. 112, n. 3, p. 772–780, 3 abr. 2022.

LEWANDOWICZ, E.; KURDI, FT; GHARINEIAT, Z. 3D LoD2 and LoD3 Modeling of Buildings with Ornamental Towers and Turrets Based on LiDAR Data. **REMOTE SENSING**, v. 14, n. 19, out. 2022.

LI, Lin *et al.* A 3D spatial data model of the solar rights associated with individual residential properties. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 74, p. 88–99, mar. 2019.

LIMA, Izabella; SCALCO, Veridiana; LAMBERTS, Roberto. Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate. **Energy and Buildings**, v. 182, p. 30–44, jan. 2019.

LIMA, Lincon De Carvalho *et al.* Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 109–127, abr. 2019.

LIMA, Renata Camelo. Interferência do Entorno Construído na Disponibilidade de Luz Natural no Interior do Ambiente no Litoral Norte de Maceió/AL. 2015.

MALERONKA, Camila; FURTADO, Fernanda. **A Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC): A Experiência de São Paulo na Gestão Pública de Aproveitamentos Urbanísticos.** , 2013.

MAROTTA, Giuliano Sant’Anna *et al.* AVALIAÇÃO POSICIONAL DE MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE DERIVADO DE CÂMARA DE PEQUENO FORMATO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1467–1477, 17 jun. 2019.

MEDEIROS, Claudione Fernandes De; KÓS, José Ripper; FAUTH, Gabriela. O conceito de vizinhança na legislação urbana brasileira e sua aplicação nos Estudos de Impacto de Vizinhança (EIV) em Florianópolis/SC. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 14, p. e20220020, 2022.

MESQUITA, Jean Charles Mello de. **ESTUDO SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.** Trabalho de Conclusão de Curso—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2022.

MILANOVIC, Danijela; VASILEVSKA, Ljiljana. Influence of private open spaces on the quality of living in low-rise high density housing. **Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering**, v. 16, n. 2, p. 293–305, 2018.

MILOSAVLJEVIĆ, Dragana D.; KEVKIĆ, Tijana S.; JOVANOVIĆ, Slavica J. **Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study.** *Open Physics* De Gruyter Open Ltd, , jan. 2022.

MINISTÉRIO DO TURISMO. Réveillon movimentou cerca de 22,1 milhões de pessoas pelo país. jan. 2025.

MORO, Jeanne *et al.* **Shading Impact analysis from tall buildings over three public spaces in Curitiba/PR.** *Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana* Pontificia Universidade Catolica do Parana, , 2021.

NAN, Liangliang; WONKA, Peter. PolyFit: Polygonal Surface Reconstruction from Point Clouds. *In: 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION (ICCV).* **2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).** Venice: IEEE, out. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8237520/>>. Acesso em: 26 set. 2023

OGC. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard. v. CityGML 3.0, p. 463, 2021.

PAULINO, Gustavo Carvalho *et al.* A análise swot e seus componentes. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAIT**, v. v. 8, 2024.

PEACOCK, Finn. **DIY Shadow Analysis: Learn How To Quantify Any Shade Cast On Solar Panels.** , 7 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.solarquotes.com.au/blog/diy-solar-shadow-analysis/>>. Acesso em: 24 out. 2023

PEREIRA, Silvia Ruzicki *et al.* Efeitos do sombreamento no desempenho de edificação com envelope isolado na ZB2. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 3, p. 145, out. 2016.

PERES, R. B.; CASSIANO, A. M. The Neighborhood Impact Study (NIS) in the southern and southeastern regions of Brazil: Advances and challenges to environmental urban management. *Urbe*, v. 11, 2019.

PEREZ, Denis Roberto Castro. DIRETRIZES SOLARES PARA O PLANEJAMENTO URBANO: O ENVELOPE SOLAR COMO CRITÉRIO PARA ADENSAMENTO E VERTICALIZAÇÃO. 2013.

POLIZEL, J.; MONTAÑO, M. The use of neighborhood impact statement as an impact assessment instrument integrated to city planning: the case of Sao Carlos (SP). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 61, p. 260–283, 2023.

PRANCKUTE, Raminta. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. **Publications**, v. 9, n. 1, p. 12, 12 mar. 2021.

PRITCHARD, Alan. Statistical Bibliography or Bibliometrics? **Journal of Documentation**, v. 25, p. 348–349, 1 jan. 1969.

QUEIROZ, Andréa Oliveira; ARAÚJO, Marinella Machado; FERNANDES, Ricardo Augusto De Souza. Transferência do direito de construir: perspectiva da aplicação do instrumento urbanístico na metrópole de São Paulo. **Revista Brasileira de Direito Urbanístico | RBDU**, p. 243–265, 15 dez. 2018.

REDWEIK, P.; CATITA, C.; BRITO, M. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. **Solar Energy**, v. 97, p. 332–341, nov. 2013.

SALEME, Edson Ricardo; MICCHELUCCI, Alvaro. CONVENIÊNCIA DA IMPOSIÇÃO DE ESTUDOS DE IMPACTO DE VIZINHANÇA E AS MEDIDAS COMPENSATÓRIAS, MITIGATÓRIAS E RETRIBUTIVAS. **Revista de Direito da Cidade**, v. 15, n. 2, 4 dez. 2023.

SANCHES, Patricia Mara *et al.* Balancing density and open space provision towards sustainable compact cities: Evidence from São Paulo, Brasília and Berlin. **Habitat International**, v. 160, p. 103362, jun. 2025.

SANI, N. H. *et al.* 3D RECONSTRUCTION OF BUILDING MODEL USING UAV POINT CLOUDS. In: YILMAZ A. *et al.* (orgs.). INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES - ISPRS ARCHIVES. **Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.** International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85132003530&doi=10.5194%2fisprs-archives-XLIII-B2-2022-455-2022&partnerID=40&md5=b1e8904bd8659af62f55cc72dcd448ff>>

SANT'ANNA, Isolda Abreu de Carvalho Mattos. Estudo de impacto de vizinhança: o perfil da cidade. **Revista de Direito da Cidade**, 2020.

SANTIN, Janaína Rigo; MARANGON, Elizete Gonçalves. O estatuto da cidade e os instrumentos de política urbana para proteção do patrimônio histórico: outorga onerosa e transferência do direito de construir. **História (São Paulo)**, v. 27, n. 2, p. 89–109, 2008.

SANTOS, Walter. **Conheça a História da Energia Solar desde o Começo.** , 2022. Disponível em: <<https://organicsnewsbrasil.com.br/solar-17/>>. Acesso em: 19 set. 2023

SARETTA, E.; BONOMO, P.; FRONTINI, F. A calculation method for the BIPV potential of Swiss façades at LOD2.5 in urban areas: A case from Ticino region. **Solar Energy**, v. 195, p. 150–165, 2020.

SERATIUK, Arthur Rodrigues. **ANÁLISE DO SOMBREAMENTO EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA INTEGRADOS À ARQUITETURA-ESTUDO DE CASO PARA FACHADAS DE EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE CURITIBA.** [S.l.]: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17329/1/CT_CECONS_IV_2014_02.pdf.pdf>.

SIERRA, Angélica Patricia Camargo; SOLANO, Alex Smith Araque; LOZANO, David Holguín. Understanding urban densification in Latin American cities: determinants of the production of built space in informal areas in Bogota (2007-2018). **Cities**, v. 148, p. 104839, maio 2024.

SIQUEIRA, Marina Toneli; SCHLEDER, Carolina Silva E. Lima. Mapeando grandes projetos urbanos: levantamento de operações urbanas nos municípios brasileiros. **Cadernos Metrópole**, v. 24, n. 54, p. 477–500, ago. 2022.

SMIL, Vaclav. **Energy and Civilization: A History**. Massachussets: MIT Press, 2017.

SOLAR SUL. **Painéis Solares Fotovoltaicos: fundamentos, eficiência e manutenção**. Canoas: Mérida Publishers, 2021.

SUOMALAINEN, K.; WANG, V.; SHARP, B. Rooftop solar potential based on LiDAR data: Bottom-up assessment at neighbourhood level. **Renewable Energy**, v. 111, p. 463–475, 2017.

SUZIGAN, Kelly Rosana. **A transição para uma matriz energética limpa: os avanços na tecnologia solar**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2015.

TAMURA, Cintia; KRUGER, Eduardo. Desenvolvimento de questionário para levantamento da percepção sobre acesso solar em Curitiba. *In: Marketing Aumentado*, nov. 2014.

TANG, L. *et al.* An application-driven LOD modeling paradigm for 3D building models. **ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING**, v. 161, p. 194–207, mar. 2020.

TRIFONOVA, Silvia; PRAMATAROV, Anton. **SWOT Analysis of the Facility Management of Hospitals: The Case of Bulgaria**. 2016.

URBIZAGASTEGUI, Ruben. La Bibliometría, Informetría, Cienciometría y otras “Metrias” en el Brasil. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 21, n. 47, p. 51–66, 12 set. 2016.

VIANNA, Saionara Dias. **Análise do “Direito ao Sol” nos planos diretores de Pelotas – RS, em zonas residenciais**. 2017.

VOSViewer. , 2023. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com>>. Acesso em: 28 set. 2023

VULKAN, A. *et al.* Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 97–109, 2018.

WANG, F. *et al.* Reconstruction of LoD-2 Building Models Guided by Façade Structures from Oblique Photogrammetric Point Cloud. **Remote Sensing**, v. 15, n. 2, 2023.

YANG, Xinyan *et al.* The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 2, p. 890–904, fev. 2017.

YUNDA, Juan G.; SLETTTO, Bjørn. Densification, private sector-led development, and social polarization in the global south: Lessons from a century of zoning in Bogotá. **Cities**, v. 97, p. 102550, fev. 2020.

ZHANG, Yuchun *et al.* Exploring thermal comfort and pleasure in outdoor shaded spaces: Inspiration for improving thermal index models. **Building and Environment**, v. 265, p. 111933, nov. 2024.

Zotero. , 2023. Disponível em: <<https://www.zotero.org>>. Acesso em: 30 jul. 2023

8 APÊNDICE A – ALGORITMO DE GERAÇÃO DA ÁREA AFETADA

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 15:18:33
"""

import arcpy
from arcpy.ia import *
from arcpy.ia import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from sys import argv

#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated
using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.
def      AreaEstudo1(gdb,      Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_,
Campo_de_Altura_Máxima_da_Edificação_m_,      Modelo_Digital_de_Terreno,
Raio_da_Análise_m_="500 Meters", Local_e_Nome_do_Polígono_de_Saída):
# 01_AffectedArea

    # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
    arcpy.env.overwriteOutput = False

    # Check out any necessary licenses.
    arcpy.CheckOutExtension("spatial")
    arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")
    arcpy.CheckOutExtension("3D")

    # Process: Buffer (Buffer) (analysis)
    Parcela_Buffer = fr"{gdb}\Parcela_Buffer"

    arcpy.analysis.Buffer(in_features=Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_.____
str____().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_,      str)      else
Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_,      out_feature_class=Parcela_Buffer,
buffer_distance_or_field=Raio_da_Análise_m_.____str____().format(**locals(),**glo
bals())if isinstance(Raio_da_Análise_m_, str) else Raio_da_Análise_m_)

    # Process: Extract by Mask (Extract by Mask) (sa)
    DTM_Clip = fr"{gdb}\DTM_Clip"
    Extract_by_Mask = DTM_Clip
    DTM_Clip
    =
    arcpy.sa.ExtractByMask(Modelo_Digital_de_Terreno.__str____().format(**locals(),
**globals()))if      isinstance(Modelo_Digital_de_Terreno,      str)      else
Modelo_Digital_de_Terreno,      Parcela_Buffer,      "INSIDE",      "738249.6043
6962386.8649      748339.9945      7011955.806
```

```

PROJCS["SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S".GEOGCS["GCS_SIRGAS_2000\
".DATUM["D_SIRGAS_2000".SPHEROID["GRS_1980".6378137.0.298.2572
22101]].PRIMEM["Greenwich".0.0].UNIT["Degree".0.0174532925199433]].P
ROJECTION["Transverse_Mercator"].PARAMETER["False_Easting".500000.
0].PARAMETER["False_Northing".10000000.0].PARAMETER["Central_Meridi
an".-
51.0].PARAMETER["Scale_Factor".0.9996].PARAMETER["Latitude_Of_Orig
in".0.0].UNIT["Meter".1.0]]")
DTM_Clip.save(Extract_by_Mask)

```

```

# Process: Area Solar Radiation T0 (Area Solar Radiation) (sa)
Radiation_T0 = fr"{gdb}\Radiation_T0"
Area_Solar_Radiation_T0 = Radiation_T0
Output_direct_radiation_raster_3_ = ""
Output_diffuse_radiation_raster_3_ = ""
Output_direct_duration_raster_3_ = ""
Radiation_T0 = arcpy.sa.AreaSolarRadiation(DTM_Clip, -27,2165829212635,
200, "WholeYear 2024", 14, 1, "NOINTERVAL", 1, "FROM_DEM", 32, 8, 8,
"UNIFORM_SKY", 0,3, 0,5, Output_direct_radiation_raster_3_,
Output_diffuse_radiation_raster_3_, Output_direct_duration_raster_3_)
Radiation_T0.save(Area_Solar_Radiation_T0)

```

```

# Process: Polygon to Raster (Polygon to Raster) (conversion)
Parcela_Raster = fr"{gdb}\Parcela_Raster"

arcpy.conversion.PolygonToRaster(in_features=Polígono_Limite_Parcela_ou_
Edificação.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_, str) else
Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_,
value_field=Campo_de_Altura_Máxima_da_Edificação_m.__str__().format(**l
ocals(),**globals()))if isinstance(Campo_de_Altura_Máxima_da_Edificação_m_,
str) else Campo_de_Altura_Máxima_da_Edificação_m_,
out_rasterdataset=Parcela_Raster,
cellsize=Modelo_Digital_de_Terreno.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(Modelo_Digital_de_Terreno, str) else Modelo_Digital_de_Terreno)

```

```

# Process: Cell Statistics (Cell Statistics) (ia)
DTM_Parcela_Clip = fr"{gdb}\DTM_Parcela_Clip"
Cell_Statistics = DTM_Parcela_Clip
with arcpy.EnvManager(extent="MAXOF"):
    DTM_Parcela_Clip = arcpy.ia.CellStatistics([Parcela_Raster, DTM_Clip],
"SUM", "DATA", "SINGLE_BAND", 90, "AUTO_DETECT")
DTM_Parcela_Clip.save(Cell_Statistics)

```

```

# Process: Area Solar Radiation T1 (Area Solar Radiation) (sa)
Radiation_T1 = fr"{gdb}\Radiation_T1"
Area_Solar_Radiation_T1 = Radiation_T1
Output_direct_radiation_raster_2_ = ""
Output_diffuse_radiation_raster_2_ = ""

```

```

Output_direct_duration_raster_2_ = ""
Radiation_T1 = arcpy.sa.AreaSolarRadiation(DTM_Parcela_Clip, -
27,2165829212635, 200, "WholeYear 2024", 14, 1, "NOINTERVAL", 1,
"FROM_DEM", 32, 8, 8, "UNIFORM_SKY", 0,3, 0,5,
Output_direct_radiation_raster_2_, Output_diffuse_radiation_raster_2_,
Output_direct_duration_raster_2_)
Radiation_T1.save(Area_Solar_Radiation_T1)

# Process: Parse Path (Parse Path) (mb)
Path, Name, Extension, Workspace_Name =
arcpy.mb.ParsePathExt(in_data_element=Polígono_Limite_Parcela_ou_Edifica
ção.__str__().format(**locals()),**globals())if
isinstance(Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_, str) else
Polígono_Limite_Parcela_ou_Edificação_, format="FORMAT")

# Process: Raster Calculator (Raster Calculator) (ia)
Radiation_Diff = fr"{gdb}\Radiation_Diff"
Raster_Calculator = Radiation_Diff
Radiation_Diff = (Radiation_T0 - Radiation_T1) / 1000
Radiation_Diff.save(Raster_Calculator)

# Process: Reclassify (Reclassify) (3d)
Reclass_Radi1 = fr"{gdb}\Reclass_Radi1"
arcpy.ddd.Reclassify(in_raster=Radiation_Diff, reclass_field="VALUE",
remap="-999999999 50 1;50 999999999999 2", out_raster=Reclass_Radi1)
Reclass_Radi1 = arcpy.Raster(Reclass_Radi1)

# Process: Extract by Attributes (Extract by Attributes) (sa)
Extract_Recl1 = fr"{gdb}\Extract_Recl1"
Extract_by_Attributes = Extract_Recl1
Extract_Recl1 = arcpy.sa.ExtractByAttributes(Reclass_Radi1, "Value = 2")
Extract_Recl1.save(Extract_by_Attributes)

# Process: Raster to Polygon (Raster to Polygon) (conversion)
raster2polygon = fr"{gdb}\raster2polygon"
with arcpy.EnvManager(outputMFlag="Disabled", outputZFlag="Disabled"):
    arcpy.conversion.RasterToPolygon(in_raster=Extract_Recl1,
out_polygon_features=raster2polygon, raster_field="VALUE")

# Process: Select Layer By Attribute (Select Layer By Attribute) (management)
Eliminate_Pol_Merge_Layer, Count =
arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=raster2polygon,
where_clause="Shape_Area > 500")

# Process: Dissolve (Dissolve) (management)
raster_to_polygon_Dissolve = fr"{gdb}\raster_to_polygon_Dissolve"
arcpy.management.Dissolve(in_features=Eliminate_Pol_Merge_Layer,
out_feature_class=raster_to_polygon_Dissolve)

```

```
# Process: Minimum Bounding Geometry (Minimum Bounding Geometry)
(management)
```

```
arcpy.management.MinimumBoundingGeometry(in_features=raster_to_polygon
_Dissolve,
out_feature_class=Local_e_Nome_do_Polígono_de_Saída.__str__().format(**l
ocals(),**globals()))if isinstance(Local_e_Nome_do_Polígono_de_Saída, str) else
Local_e_Nome_do_Polígono_de_Saída, geometry_type="CONVEX_HULL")
```

```
if __name__ == '__main__':
    # Global Environment settings
    with
    arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
        AreaEstudo1(*argv[1:])
```

9 APÊNDICE B – ALGORITMO DE CALIBRAÇÃO DA FERRAMENTA RASTER SOLAR RADIATION

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 16:48:49
```

```
''''
```

```
import arcpy
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from sys import argv
def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented
```

#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.

```
def
```

```
Model122(MeteoStation_Buffer50="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documents\\ArcGIS\\Projects\\SennaTower\\SennaTower.gdb\\MeteoStation_Buffer50",
DSM_Tiles_A868_tif="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\02_UDESC\\03_Doutorado\\05_Tese_Solar\\SennaTower\\MeteoStation\\DSM\\DSM_Tiles_A868.tif",
Ano="2024", Start_Date="01/01/2024", End_Date="31/12/2024",
Geodatabase="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documents\\ArcGIS\\Projects\\SennaTower\\SennaTower.gdb",
Pasta_Windows="C:\\Users\\WINDOWS\\Desktop\\CRF_Senna"): #
02_Calibration_Geral_Mask
```

```
# To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
arcpy.env.overwriteOutput = False
```

```
# Check out any necessary licenses.
arcpy.CheckOutExtension("spatial")
```

```
Distance_value_or_field_2_ = "1000 Meters"
Multiple_Value = [0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0]
T2 = 0.2
T3 = 0.3
T4 = 0.4
T5 = 0.5
T6 = 0.6
T7 = 0.7
```

```
for Value in # NOT IMPLEMENTED(Multiple_Value):
```

```

# Process: Buffer (Buffer) (analysis)
Parcela_Buffer = fr"{Geodatabase}\Parcela_Buffer"

arcpy.analysis.Buffer(in_features=MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals()))if
instance(MeteoStation_Buffer50, str) else
MeteoStation_Buffer50, out_feature_class=Parcela_Buffer,
buffer_distance_or_field=Distance_value_or_field_2_)

# Process: Extract by Mask (Extract by Mask) (sa)
DTM_Clip2 = fr"{Geodatabase}\DTM_Clip"
Extract_by_Mask = DTM_Clip2
DTM_Clip2 =
arcpy.sa.ExtractByMask(DSM_Tiles_A868_tif.__str__().format(**locals(),**globals()))if
instance(DSM_Tiles_A868_tif, str) else DSM_Tiles_A868_tif,
Parcela_Buffer, "INSIDE", "722111.0123 7016972.4698 722229.7979
7017091.4888
PROJCS["SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S"].GEOGCS["GCS_SIRGAS_2000\
".DATUM["D_SIRGAS_2000"].SPHEROID["GRS_1980".6378137.0.298.2572
22101]].PRIMEM["Greenwich".0.0].UNIT["Degree".0.0174532925199433]].P
ROJECTION["Transverse_Mercator"].PARAMETER["False_Easting".500000.
0].PARAMETER["False_Northing".10000000.0].PARAMETER["Central_Meridi
an".-
51.0].PARAMETER["Scale_Factor".0.9996].PARAMETER["Latitude_Of_Origi
n".0.0].UNIT["Meter".1.0]])
DTM_Clip2.save(Extract_by_Mask)

# Process: Raster Solar Radiation (Raster Solar Radiation) (sa)
Value = 0.2
NameT2 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T2}.crf"
Raster_Solar_Radiation = NameT2
Output_Direct_Radiation_Raster = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster = ""
Output_Direct_Duration_Raster = ""
NameT2 =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals()))if instance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals()))if
instance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals()))if
instance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster, Output_Diffuse_Radiation_Raster,
Output_Direct_Duration_Raster, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T2, "GPU_THEN_CPU",
None)
NameT2.save(Raster_Solar_Radiation)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (2) (Raster Solar Radiation) (sa)
NameT3 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T3}.crf"
Raster_Solar_Radiation_2_ = NameT3
Output_Direct_Radiation_Raster_2_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_2_ = ""
if NameT2:
    NameT3 = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_2_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_,
Output_Direct_Duration_Raster_2_, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T3, "GPU_THEN_CPU",
None)
    NameT3.save(Raster_Solar_Radiation_2_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (3) (Raster Solar Radiation) (sa)
NameT4 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T4}.crf"
Raster_Solar_Radiation_3_ = NameT4
Output_Direct_Radiation_Raster_3_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_3_ = ""
if NameT2 and NameT3:
    NameT4 = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_3_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_,
Output_Direct_Duration_Raster_3_, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T4, "GPU_THEN_CPU",
None)
    NameT4.save(Raster_Solar_Radiation_3_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (4) (Raster Solar Radiation) (sa)
NameT5 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T5}.crf"
Raster_Solar_Radiation_4_ = NameT5
Output_Direct_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_4_ = ""
if NameT2 and NameT3 and NameT4:

```

```

        NameT5 = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_4_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_,
Output_Direct_Duration_Raster_4_, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T5, "GPU_THEN_CPU",
None)

```

```

        NameT5.save(Raster_Solar_Radiation_4_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (5) (Raster Solar Radiation) (sa)

```

```

NameT6 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T6}.crf"

```

```

Raster_Solar_Radiation_5_ = NameT6

```

```

Output_Direct_Radiation_Raster_5_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_ = ""

```

```

Output_Direct_Duration_Raster_5_ = ""

```

```

if NameT2 and NameT3 and NameT4 and NameT5:

```

```

        NameT6 = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_5_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_,
Output_Direct_Duration_Raster_5_, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T6, "GPU_THEN_CPU",
None)

```

```

        NameT6.save(Raster_Solar_Radiation_5_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (6) (Raster Solar Radiation) (sa)

```

```

NameT7 = fr"{Pasta_Windows}\Rad_{Ano}_D{Value}_T{T7}.crf"

```

```

Raster_Solar_Radiation_6_ = NameT7

```

```

Output_Direct_Radiation_Raster_6_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_ = ""

```

```

Output_Direct_Duration_Raster_6_ = ""

```

```

if NameT2 and NameT3 and NameT4 and NameT5 and NameT6:

```

```

        NameT7 = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DTM_Clip2,
Start_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Start_Date, str)
else Start_Date, End_Date.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(End_Date, str) else End_Date,
MeteoStation_Buffer50.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(MeteoStation_Buffer50, str) else MeteoStation_Buffer50, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_6_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_,

```

```
Output_Direct_Duration_Raster_6_, "Central_Brazilian_Standard_Time",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "1 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Value, T7, "GPU_THEN_CPU",
None)
```

```
    NameT7.save(Raster_Solar_Radiation_6_)
```

```
if __name__ == '__main__':
    # Global Environment settings
    with
    arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
        Model122(*argv[1:])
```

10 APÊNDICE C – ALGORITMO DA SIMULAÇÃO CALIBRADA EM T0

```
# -*- coding: utf-8 -*-
''''
```

```
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 16:49:06
''''
```

```
import arcpy
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from sys import argv
```

```
#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated
using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.
def Model12112(MeteoStation_IFSC_Buffer_2_="MeteoStation_IFSC_Buffer",
MeteoStation_IFSC="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\P
rojects\\Radiation_Geoprocessing\\Radiation_Geoprocessing.gdb\\MeteoStatio
n_IFSC", JanStart="01/01/2024", JanEnd="01/02/2024", FevStart="01/02/2024",
FevEnd="01/03/2024", MarStart="01/03/2024", MarEnd="01/04/2024",
AbrStart="01/04/2024", AbrEnd="01/05/2024", MaiStart="01/05/2024",
MaiEnd="01/06/2024", JunStart="01/06/2024", JunEnd="01/07/2024",
JulStart="01/07/2024", JulEnd="01/08/2024", AgoStart="01/08/2024",
AgoEnd="01/09/2024", SetStart="01/09/2024", SetEnd="01/10/2024",
OutStart="01/10/2024", OutEnd="01/11/2024", NovStart="01/11/2024",
NovEnd="01/12/2024", DezStart="01/12/2024", DezEnd="01/01/2025",
Ano="2024",
Geodatabase="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Project
s\\Teste.gdb", Pasta_Windows="C:\\Users\\WINDOWS\\Desktop\\CRF_IFSC",
DSM_Mosaic_Floripa_tif="DSM_Mosaic_Floripa.tif",
Parcela_UTM="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Project
s\\Radiation\\Radiation.gdb\\Parcela_UTM",
MeteoStation_IFSC_Buffer="MeteoStation_IFSC_Buffer"):
03_Calibrated_Simulation_T0
```

```
# To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
arcpy.env.overwriteOutput = False
```

```

# Check out any necessary licenses.
arcpy.CheckOutExtension("spatial")

Diff_Jan = 0.5
Trans_Jan = 0.4
Diff_Fev = 0.4
Trans_Fev = 0.5
Diff_Mar = 0.4
Trans_Mar = 0.5
Diff_Abr = 0.4
Trans_Abr = 0.5
Diff_Mai = 0.5
Trans_Mai = 0.5
Diff_Jun = 0.4
Trans_Jun = 0.5
Diff_Jul = 0.4
Trans_Jul = 0.5
Diff_Ago = 0.3
Trans_Ago = 0.5
Diff_Set = 0.4
Trans_Set = 0.5
Diff_Out = 0.4
Trans_Out = 0.4
Diff_Nov = 0.5
Trans_Nov = 0.4
Diff_Dez = 0.4
Trans_Dez = 0.5

# Process: Extract by Mask (3) (Extract by Mask) (sa)
DEM_Extent_2_ = fr"{Geodatabase}\Extract_DEM1"
Extract_by_Mask_3_ = DEM_Extent_2_
DEM_Extent_2_ =
arcpy.sa.ExtractByMask(DSM_Mosaic_Floripa_tif.__str__().format(**locals(),**g
lobals()))if isinstance(DSM_Mosaic_Floripa_tif, str) else DSM_Mosaic_Floripa_tif,
Parcela_UTM.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Parcela_UTM,
str) else Parcela_UTM, "OUTSIDE", "747386.756160196 6961896.41354933
748421.408502196 6962762.00614733
PROJCS["SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S".GEOGCS["GCS_SIRGAS_2000\
".DATUM["D_SIRGAS_2000".SPHEROID["GRS_1980".6378137.0.298.2572
22101]].PRIMEM["Greenwich".0.0].UNIT["Degree".0.0174532925199433]].P
ROJECTION["Transverse_Mercator"].PARAMETER["False_Easting".500000.
0].PARAMETER["False_Northing".10000000.0].PARAMETER["Central_Meridi
an".-
51.0].PARAMETER["Scale_Factor".0.9996].PARAMETER["Latitude_Of_Origi
n".0.0].UNIT["Meter".1.0]]")
DEM_Extent_2_.save(Extract_by_Mask_3_)

# Process: Extract by Mask (4) (Extract by Mask) (sa)
DSM_Extent_Furado = fr"{Geodatabase}\DSM_Extent_Furado"

```

```

Extract_by_Mask_4_ = DSM_Extent_Furado
DSM_Extent_Furado = arcpy.sa.ExtractByMask(DEM_Extent_2_,
MeteoStation_IFSC_Buffer.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(MeteoStation_IFSC_Buffer, str) else MeteoStation_IFSC_Buffer,
"INSIDE", "741155.7341 6943919.7405 744175.7212 6946934.714
PROJCS["SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S"].GEOGCS["GCS_SIRGAS_2000\
".DATUM["D_SIRGAS_2000"].SPHEROID["GRS_1980".6378137.0.298.2572
22101]].PRIMEM["Greenwich".0.0].UNIT["Degree".0.0174532925199433]].P
ROJECTION["Transverse_Mercator"].PARAMETER["False_Easting".500000.
0].PARAMETER["False_Northing".10000000.0].PARAMETER["Central_Meridi
an".-
51.0].PARAMETER["Scale_Factor".0.9996].PARAMETER["Latitude_Of_Origi
n".0.0].UNIT["Meter".1.0]]")
DSM_Extent_Furado.save(Extract_by_Mask_4_)

```

```

# Process: Resample (3) (Resample) (management)
DSM_Extent_Furado_15cm = fr"{Geodatabase}\DSM_Extent_Furado_15cm"
arcpy.management.Resample(in_raster=DSM_Extent_Furado,
out_raster=DSM_Extent_Furado_15cm)
DSM_Extent_Furado_15cm = arcpy.Raster(DSM_Extent_Furado_15cm)

```

```

# Process: Select Layer By Location (Select Layer By Location) (management)
Building_Footprint_2_, Output_Layer_Names, Count =
arcpy.management.SelectLayerByLocation(in_layer=[MeteoStation_IFSC],
select_features=MeteoStation_IFSC_Buffer_2_.__str__().format(**locals(),**glo
bals()))if isinstance(MeteoStation_IFSC_Buffer_2_, str) else
MeteoStation_IFSC_Buffer_2_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (Raster Solar Radiation) (sa)
R01_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R01_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation = R01_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster = ""
Output_Direct_Duration_Raster = ""
R01_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
JanStart.__str__().format(**locals(),**globals()))if isinstance(JanStart, str) else
JanStart, JanEnd.__str__().format(**locals(),**globals()))if isinstance(JanEnd, str)
else JanEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster,
Output_Diffuse_Radiation_Raster, Output_Direct_Duration_Raster, "UTC",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Jan, Trans_Jan,
"GPU_THEN_CPU", None)
R01_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (2) (Raster Solar Radiation) (sa)
R02_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R02_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_2_ = R02_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_2_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_2_ = ""
R02_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
FevStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(FevStart, str) else
FevStart, FevEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(FevEnd,
str) else FevEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_2_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_,
Output_Direct_Duration_Raster_2_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Fev, Trans_Fev, "GPU_THEN_CPU", None)
R02_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_2_)

# Process: Raster Solar Radiation (3) (Raster Solar Radiation) (sa)
R03_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R03_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_3_ = R03_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_3_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_3_ = ""
R03_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
MarStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MarStart, str) else
MarStart, MarEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MarEnd,
str) else MarEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_3_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_,
Output_Direct_Duration_Raster_3_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Mar, Trans_Mar, "GPU_THEN_CPU", None)
R03_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_3_)

# Process: Raster Solar Radiation (4) (Raster Solar Radiation) (sa)
R04_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R04_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_4_ = R04_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_4_ = ""
R04_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
AbrStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AbrStart, str) else
AbrStart, AbrEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AbrEnd, str)
else AbrEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_4_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_, Output_Direct_Duration_Raster_4_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Abr, Trans_Abr,
"GPU_THEN_CPU", None)
R04_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_4_)

# Process: Raster Solar Radiation (5) (Raster Solar Radiation) (sa)
R05_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R05_{Ano}_SObs.crf"

```

```

Raster_Solar_Radiation_5_ = R05_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_5_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_5_ = ""
R05_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
MaiStart.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(MaiStart, str) else
MaiStart, MaiEnd.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(MaiEnd, str)
else MaiEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_5_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_, Output_Direct_Duration_Raster_5_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Mai, Trans_Mai,
"GPU_THEN_CPU", None)
R05_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_5_)

# Process: Raster Solar Radiation (6) (Raster Solar Radiation) (sa)
R06_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R06_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_6_ = R06_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_6_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_6_ = ""
R06_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
JunStart.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(JunStart, str) else
JunStart, JunEnd.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(JunEnd, str)
else JunEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_6_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_, Output_Direct_Duration_Raster_6_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Jun, Trans_Jun,
"GPU_THEN_CPU", None)
R06_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_6_)

# Process: Raster Solar Radiation (7) (Raster Solar Radiation) (sa)
R07_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R07_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_7_ = R07_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_7_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_7_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_7_ = ""
R07_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
JulStart.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(JulStart, str) else
JulStart, JulEnd.__str__().format(**locals()),**globals())if isinstance(JulEnd, str)
else JulEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_7_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_7_, Output_Direct_Duration_Raster_7_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Jul, Trans_Jul,
"GPU_THEN_CPU", None)
R07_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_7_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (8) (Raster Solar Radiation) (sa)
R08_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R08_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_8_ = R08_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_8_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_8_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_8_ = ""
R08_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
AgoStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AgoStart, str) else
AgoStart, AgoEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AgoEnd,
str) else AgoEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_8_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_8_,
Output_Direct_Duration_Raster_8_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Ago, Trans_Ago, "GPU_THEN_CPU", None)
R08_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_8_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (9) (Raster Solar Radiation) (sa)
R09_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R09_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_9_ = R09_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_9_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_9_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_9_ = ""
R09_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
SetStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(SetStart, str) else
SetStart, SetEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(SetEnd, str)
else SetEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_9_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_9_, Output_Direct_Duration_Raster_9_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Set, Trans_Set,
"GPU_THEN_CPU", None)
R09_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_9_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (10) (Raster Solar Radiation) (sa)
R10_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R10_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_10_ = R10_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_10_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_10_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_10_ = ""
R10_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
OutStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(OutStart, str) else
OutStart, OutEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(OutEnd, str)
else OutEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_10_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_10_,
Output_Direct_Duration_Raster_10_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Out, Trans_Out, "GPU_THEN_CPU", None)

```

```

R10_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_10_)

# Process: Raster Solar Radiation (11) (Raster Solar Radiation) (sa)
R11_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R11_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_11_ = R11_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_11_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_11_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_11_ = ""
R11_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
NovStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(NovStart, str) else
NovStart, NovEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(NovEnd,
str) else NovEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_11_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_11_,
Output_Direct_Duration_Raster_11_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Nov, Trans_Nov, "GPU_THEN_CPU", None)
R11_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_11_)

# Process: Raster Solar Radiation (12) (Raster Solar Radiation) (sa)
R12_Ano_SObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R12_{Ano}_SObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_12_ = R12_Ano_SObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_12_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_12_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_12_ = ""
R12_Ano_SObs_crf =
arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_Furado_15cm,
DezStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(DezStart, str) else
DezStart, DezEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(DezEnd,
str) else DezEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_12_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_12_,
Output_Direct_Duration_Raster_12_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.15 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD",
"UNIFORM_SKY", Diff_Dez, Trans_Dez, "GPU_THEN_CPU", None)
R12_Ano_SObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_12_)

if __name__ == '__main__':
    # Global Environment settings
    with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
    Model12112(*argv[1:])

```

11 APÊNDICE D - ALGORITMO DA SIMULAÇÃO CALIBRADA EM T1

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
```

```
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 16:49:23
"""
```

```
import arcpy
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from arcpy.sa import *
from sys import argv
```

```
#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated
using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.
def Model12111(DEM_tif="DEM.tif",
RecorteVoo="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
\\Radiation\\Radiation.gdb\\RecorteVoo",
Parcela_UTM_AffectedArea="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\A
rcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb\\Parcela_UTM_AffectedArea",
Building_Footprint="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Pr
jects\\Radiation_Geoprocessing\\Radiation_Geoprocessing.gdb\\Building_Foot
print", JanStart="01/01/2024", JanEnd="01/02/2024", FevStart="01/02/2024",
FevEnd="01/03/2024", MarStart="01/03/2024", MarEnd="01/04/2024",
AbrStart="01/04/2024", AbrEnd="01/05/2024", MaiStart="01/05/2024",
MaiEnd="01/06/2024", JunStart="01/06/2024", JunEnd="01/07/2024",
JulStart="01/07/2024", JulEnd="01/08/2024", AgoStart="01/08/2024",
AgoEnd="01/09/2024", SetStart="01/09/2024", SetEnd="01/10/2024",
OutStart="01/10/2024", OutEnd="01/11/2024", NovStart="01/11/2024",
NovEnd="01/12/2024", DezStart="01/12/2024", DezEnd="01/01/2025",
Ano="2024",
Geodatabase="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Project
s\\Teste.gdb",
Pasta_Windows="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Desktop\\CRFs_Buildings")
: # 04_Calibrated_Simulation_T1
```

```
# To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
arcpy.env.overwriteOutput = False
```

```
# Check out any necessary licenses.
```

```

arcpy.CheckOutExtension("spatial")

Diff_Jan = 0.5
Trans_Jan = 0.4
Diff_Fev = 0.4
Trans_Fev = 0.5
Diff_Mar = 0.4
Trans_Mar = 0.5
Diff_Abr = 0.4
Trans_Abr = 0.5
Diff_Mai = 0.5
Trans_Mai = 0.5
Diff_Jun = 0.4
Trans_Jun = 0.5
Diff_Jul = 0.4
Trans_Jul = 0.5
Diff_Ago = 0.3
Trans_Ago = 0.5
Diff_Set = 0.4
Trans_Set = 0.5
Diff_Out = 0.4
Trans_Out = 0.4
Diff_Nov = 0.5
Trans_Nov = 0.4
Diff_Dez = 0.4
Trans_Dez = 0.5

# Process: Extract by Mask (Extract by Mask) (sa)
DSM_Extent = fr"{Geodatabase}\DSM_Extent"
Extract_by_Mask = DSM_Extent
DSM_Extent =
arcpy.sa.ExtractByMask(DEM_tif.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(DEM_tif, str) else DEM_tif,
RecorteVoo.__str__().format(**locals(),**globals()))if isinstance(RecorteVoo, str)
else RecorteVoo, "INSIDE", "747589.8683 6962058.8276 748227.9251
6962601.1094
PROJCS["SIRGAS_2000_UTM_Zone_22S"].GEOGCS["GCS_SIRGAS_2000\
".DATUM["D_SIRGAS_2000"].SPHEROID["GRS_1980".6378137.0.298.2572
22101]].PRIMEM["Greenwich".0.0].UNIT["Degree".0.0174532925199433]].P
ROJECTION["Transverse_Mercator"].PARAMETER["False_Easting".500000.
0].PARAMETER["False_Northing".10000000.0].PARAMETER["Central_Meridi
an".-
51.0].PARAMETER["Scale_Factor".0.9996].PARAMETER["Latitude_Of_Origi
n".0.0].UNIT["Meter".1.0]].VERTCS["unknown"].VDATUM["unknown"].PARA
METER["Vertical_Shift".0.0].PARAMETER["Direction".1.0].UNIT["Meter".1.0
]]")
DSM_Extent.save(Extract_by_Mask)

# Process: Resample (Resample) (management)

```

```

DSM_Extent_15cm = fr"{Geodatabase}\DSM_Extent_15cm"
arcpy.management.Resample(in_raster=DSM_Extent,
out_raster=DSM_Extent_15cm)
DSM_Extent_15cm = arcpy.Raster(DSM_Extent_15cm)

# Process: Select Layer By Location (Select Layer By Location) (management)
Building_Footprint_2_,          Output_Layer_Names,          Count          =
arcpy.management.SelectLayerByLocation(in_layer=[Building_Footprint],
select_features=Parcela_UTM_AffectedArea.__str__().format(**locals(),**global
s()))if          isinstance(Parcela_UTM_AffectedArea,          str)          else
Parcela_UTM_AffectedArea)

# Process: Raster Solar Radiation (Raster Solar Radiation) (sa)
R01_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R01_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation = R01_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster = ""
Output_Direct_Duration_Raster = ""
R01_Ano_CObs_crf  =  arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
JanStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JanStart, str) else
JanStart, JanEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JanEnd, str)
else JanEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster,
Output_Diffuse_Radiation_Raster, Output_Direct_Duration_Raster, "UTC",
"NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1, "0.1499999999999995
Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Jan, Trans_Jan,
"GPU_THEN_CPU", None)
R01_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation)

# Process: Raster Solar Radiation (2) (Raster Solar Radiation) (sa)
R02_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R02_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_2_ = R02_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_2_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_2_ = ""
R02_Ano_CObs_crf  =  arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
FevStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(FevStart, str) else
FevStart, FevEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(FevEnd,
str) else FevEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_2_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_2_,
Output_Direct_Duration_Raster_2_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.1499999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Fev, Trans_Fev,
"GPU_THEN_CPU", None)
R02_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_2_)

# Process: Raster Solar Radiation (3) (Raster Solar Radiation) (sa)
R03_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R03_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_3_ = R03_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_3_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_3_ = ""
R03_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
MarStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MarStart, str) else
MarStart, MarEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MarEnd,
str) else MarEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_3_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_3_,
Output_Direct_Duration_Raster_3_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.149999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Mar, Trans_Mar,
"GPU_THEN_CPU", None)
R03_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_3_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (4) (Raster Solar Radiation) (sa)
R04_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R04_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_4_ = R04_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_4_ = ""
R04_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
AbrStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AbrStart, str) else
AbrStart, AbrEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AbrEnd, str)
else AbrEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_4_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_4_, Output_Direct_Duration_Raster_4_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1,
"0.149999999999995 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY",
Diff_Abr, Trans_Abr, "GPU_THEN_CPU", None)
R04_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_4_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (5) (Raster Solar Radiation) (sa)
R05_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R05_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_5_ = R05_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_5_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_5_ = ""
R05_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
MaiStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MaiStart, str) else
MaiStart, MaiEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(MaiEnd, str)
else MaiEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_5_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_5_, Output_Direct_Duration_Raster_5_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1,
"0.149999999999995 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY",
Diff_Mai, Trans_Mai, "GPU_THEN_CPU", None)
R05_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_5_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (6) (Raster Solar Radiation) (sa)
R06_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R06_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_6_ = R06_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_6_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_6_ = ""
R06_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
JunStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JunStart, str) else
JunStart, JunEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JunEnd, str)
else JunEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_6_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_6_, Output_Direct_Duration_Raster_6_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1,
"0.1499999999999995 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY",
Diff_Jun, Trans_Jun, "GPU_THEN_CPU", None)
R06_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_6_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (7) (Raster Solar Radiation) (sa)
R07_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R07_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_7_ = R07_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_7_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_7_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_7_ = ""
R07_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
JulStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JulStart, str) else
JulStart, JulEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(JulEnd, str)
else JulEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_7_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_7_, Output_Direct_Duration_Raster_7_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1,
"0.1499999999999995 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY",
Diff_Jul, Trans_Jul, "GPU_THEN_CPU", None)
R07_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_7_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (8) (Raster Solar Radiation) (sa)
R08_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R08_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_8_ = R08_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_8_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_8_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_8_ = ""
R08_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
AgoStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AgoStart, str) else
AgoStart, AgoEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(AgoEnd,
str) else AgoEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_8_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_8_,
Output_Direct_Duration_Raster_8_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.1499999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Ago, Trans_Ago,
"GPU_THEN_CPU", None)
R08_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_8_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (9) (Raster Solar Radiation) (sa)
R09_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R09_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_9_ = R09_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_9_ = ""

```

```

Output_Diffuse_Radiation_Raster_9_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_9_ = ""
R09_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
SetStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(SetStart, str) else
SetStart, SetEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(SetEnd, str)
else SetEnd, Building_Footprint_2_, "", "", Output_Direct_Radiation_Raster_9_,
Output_Diffuse_Radiation_Raster_9_, Output_Direct_Duration_Raster_9_,
"UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST", "INTERVAL", "DAY", 1,
"0.1499999999999995 Meters", "FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY",
Diff_Set, Trans_Set, "GPU_THEN_CPU", None)
R09_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_9_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (10) (Raster Solar Radiation) (sa)
R10_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R10_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_10_ = R10_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_10_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_10_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_10_ = ""
R10_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
OutStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(OutStart, str) else
OutStart, OutEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(OutEnd, str)
else OutEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_10_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_10_,
Output_Direct_Duration_Raster_10_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.1499999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Out, Trans_Out,
"GPU_THEN_CPU", None)
R10_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_10_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (11) (Raster Solar Radiation) (sa)
R11_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R11_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_11_ = R11_Ano_CObs_crf
Output_Direct_Radiation_Raster_11_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_11_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_11_ = ""
R11_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
NovStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(NovStart, str) else
NovStart, NovEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(NovEnd,
str) else NovEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_11_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_11_,
Output_Direct_Duration_Raster_11_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.1499999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Nov, Trans_Nov,
"GPU_THEN_CPU", None)
R11_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_11_)

```

```

# Process: Raster Solar Radiation (12) (Raster Solar Radiation) (sa)
R12_Ano_CObs_crf = fr"{Pasta_Windows}\R12_{Ano}_CObs.crf"
Raster_Solar_Radiation_12_ = R12_Ano_CObs_crf

```

```

Output_Direct_Radiation_Raster_12_ = ""
Output_Diffuse_Radiation_Raster_12_ = ""
Output_Direct_Duration_Raster_12_ = ""
R12_Ano_CObs_crf = arcpy.sa.RasterSolarRadiation(DSM_Extent_15cm,
DezStart.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(DezStart, str) else
DezStart, DezEnd.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(DezEnd,
str) else DezEnd, Building_Footprint_2_, "", "",
Output_Direct_Radiation_Raster_12_, Output_Diffuse_Radiation_Raster_12_,
Output_Direct_Duration_Raster_12_, "UTC", "NOT_ADJUSTED_FOR_DST",
"INTERVAL", "DAY", 1, "0.14999999999999995 Meters",
"FIXED_NEIGHBORHOOD", "UNIFORM_SKY", Diff_Dez, Trans_Dez,
"GPU_THEN_CPU", None)
R12_Ano_CObs_crf.save(Raster_Solar_Radiation_12_)

if __name__ == '__main__':
    # Global Environment settings
    with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documents\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
    Model12111(*argv[1:])

```

12 APÊNDICE E – ALGORITMO DA EXTRAÇÃO DE DADOS

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 16:50:12
"""

import arcpy
from Radiationatbx.Model21 import Model21
from sys import argv

#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated
using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.
def Model3(Módulos="Modulos_V2",
Append_T0="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
SennaTower\\SennaTower.gdb\\Append_T0",
Append_T1_2_="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Proje
cts\\SennaTower\\SennaTower.gdb\\Append_T1",
Transfer_Fields=["CD_Parcela"]): # 05_Sample_Extraction_V5

    # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
    arcpy.env.overwriteOutput = False

    # Check out any necessary licenses.
    arcpy.CheckOutExtension("spatial")
    arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")

    arcpy.ImportToolbox(r"c:\program
files\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\toolboxes\Conversion Tools.tbx")
    Modulos_V2 = "Modulos_V2"
    Senna_Footprint_Max_AffectedArea = "Senna_Footprint_Max_AffectedArea"
    Merge_T0_crf = arcpy.Raster("Merge_T0.crf")
    Merge_T1_crf = arcpy.Raster("Merge_T1.crf")
    SennaTower_gdb =
"C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\SennaTower
\\SennaTower.gdb"
    Workspace =
"C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\SennaTower
\\SennaTower.gdb"

    # Process: Delete Rows (Delete Rows) (management)
    Updated_Input_With_Rows_Removed =
arcpy.management.DeleteRows(in_rows=Append_T0.__str__().format(**locals(
),**globals()))if isinstance(Append_T0, str) else Append_T0)[0]

    # Process: Delete Rows (2) (Delete Rows) (management)
    Updated_Input_With_Rows_Removed_2_ =
arcpy.management.DeleteRows(in_rows=Append_T1_2_.__str__().format(**loc
als(),**globals()))if isinstance(Append_T1_2_, str) else Append_T1_2_)[0]
```

```

# Process: 05_Sample_Extraction_SubModel_V3
(05_Sample_Extraction_SubModel_V3) (Radiationatbx)
Append_T0_5_, Append_T1_7_ = Model21(Módulos=Modulos_V2,
Área_Afetada=Senna_Footprint_Max_AffectedArea, Merge_T0=Merge_T0_crf,
Merge_T1=Merge_T1_crf, Append_T0=Updated_Input_With_Rows_Removed,
Append_T1=Updated_Input_With_Rows_Removed_2_,
Workspace=SennaTower_gdb)

# Process: Join Field (2) (Join Field) (management)
Append_T1_4_ = arcpy.management.JoinField(in_data=Append_T0_5_,
in_field="LOCATIONID",
join_table=Módulos.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Módulos,
str) else Módulos, join_field="OBJECTID",
fields=Transfer_Fields.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(Transfer_Fields, str) else Transfer_Fields)[0]

# Process: Table To Excel (Table To Excel) (conversion)
Amostra_T0_xlsx =
"C:\\Users\\WINDOWS\\Desktop\\CRF_Senna\\Amostra_T0.xlsx"
arcpy.conversion.TableToExcel(Input_Table=[Append_T1_4_],
Output_Excel_File=Amostra_T0_xlsx)

# Process: Join Field (Join Field) (management)
Append_T1 = arcpy.management.JoinField(in_data=Append_T1_7_,
in_field="LOCATIONID",
join_table=Módulos.__str__().format(**locals(),**globals())if isinstance(Módulos,
str) else Módulos, join_field="OBJECTID",
fields=Transfer_Fields.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(Transfer_Fields, str) else Transfer_Fields)[0]

# Process: Table To Excel (2) (Table To Excel) (conversion)
Amostra_T1_xlsx =
"C:\\Users\\WINDOWS\\Desktop\\CRF_Senna\\Amostra_T1.xlsx"
arcpy.conversion.TableToExcel(Input_Table=[Append_T1],
Output_Excel_File=Amostra_T1_xlsx)

if __name__ == '__main__':
# Global Environment settings
with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
Model3(*argv[1:])

```

13 APÊNDICE F - ALGORITMO DA EXTRAÇÃO DE DADOS (SUBMODELO)

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2025-06-30 16:49:57
"""
import arcpy
from sys import argv
def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented

#For inline variable substitution, parameters passed as a String are evaluated
using locals(), globals() and isinstance(). To override, substitute values directly.
def Model21(Módulos="Modulos_V2",
Área_Afetada="Senna_Footprint_Max_AffectedArea",
Merge_T0="Merge_T0.crf", Merge_T1="Merge_T1.crf",
Append_T0="C:\\Users\\\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
SennaTower\\SennaTower.gdb\\Append_T0",
Append_T1="C:\\Users\\\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
SennaTower\\SennaTower.gdb\\Append_T1",
Workspace="C:\\Users\\\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
SennaTower\\SennaTower.gdb"): # 05_Sample_Extraction_SubModel_V3

    # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
    arcpy.env.overwriteOutput = False

    # Check out any necessary licenses.
    arcpy.CheckOutExtension("spatial")
    arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")

    for Módulos_Seleccionados, Value in # NOT
IMPLEMENTED(Layer_With_Selection_2_, [{"CD_Modulo", ""}], False):

        # Process: Select Layer By Location (2) (Select Layer By Location)
        (management)
        Layer_With_Selection_2_, Output_Layer_Names_2_, Count_2_ =
arcpy.management.SelectLayerByLocation(in_layer=[Módulos],
select_features=Área_Afetada.__str__().format(**locals(),**globals())if
isinstance(Área_Afetada, str) else Área_Afetada)

        # Process: Sample (Sample) (ia)
        Value = "1"
        Sample_T0_Value_ = fr"{Workspace}\\Sample_T0_{Value}"
        arcpy.ia.Sample([Merge_T0], Módulos_Seleccionados, Sample_T0_Value_,
"NEAREST", "OBJECTID", "ALL_SLICES", [], "MEAN", None, "", "ROW_WISE",
"TABLE")

        # Process: Append (Append) (management)
```

```

Append_T0_2_, Appended_Row_Count, Updated_Row_Count =
arcpy.management.Append(inputs=[Sample_T0_Value_],
target=Append_T0.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(Append_T0, str) else Append_T0, schema_type="NO_TEST",
field_mapping="LOCATIONID \"LOCATIONID\" true true false 4 Long 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,LOCATIONID,-1,-1;X \"X\" true true
false 8 Double 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,X,-1,-1;Y \"Y\" true true false 8
Double 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,Y,-1,-1;global_solar_radiation
\"global_solar_radiation\" true true false 8 Double 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,global_solar_radiation,-1,-1;StdTime
\"StdTime\" true true false 8 Date 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,StdTime,-1,-1;StdTime_Max
\"StdTime_Max\" true true false 8 Date 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,StdTime_Max,-1,-1;Dimensions
\"Dimensions\" true true false 50 Text 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T0_1,Dimensions,0,49;CD_Modulo
\"CD_Modulo\" true true false 255 Text 0 0,First,#;CD_Modulo_1 \"CD_Modulo\"
true true false 255 Text 0 0,First,#;CD_Modulo_12 \"CD_Modulo\" true true false
255 Text 0 0,First,#")

```

```

# Process: Sample (2) (Sample) (ia)

```

```

Sample_T1_Value_ = fr"{Workspace}\\Sample_T1_{Value}"
arcpy.ia.Sample([Merge_T1], Módulos_Seleccionados, Sample_T1_Value_,
"NEAREST", "OBJECTID", "ALL_SLICES", [], "MEAN", None, "", "ROW_WISE",
"TABLE")

```

```

# Process: Append (2) (Append) (management)

```

```

Append_T1_2_, Appended_Row_Count_2_, Updated_Row_Count_2_ =
arcpy.management.Append(inputs=[Sample_T1_Value_],
target=Append_T1.__str__().format(**locals(),**globals()))if
isinstance(Append_T1, str) else Append_T1, schema_type="NO_TEST",
field_mapping="LOCATIONID \"LOCATIONID\" true true false 4 Long 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,LOCATIONID,-1,-1;X \"X\" true true
false 8 Double 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,X,-1,-1;Y \"Y\" true true false 8
Double 0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,Y,-1,-1;global_solar_radiation

```

```

\"global_solar_radiation\"      true      true      false      8      Double      0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,global_solar_radiation,-1,-1;StdTime
\"StdTime\"      true      true      false      8      Date      0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,StdTime,-1,-1;StdTime_Max
\"StdTime_Max\"      true      true      false      8      Date      0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,StdTime_Max,-1,-1;Dimensions
\"Dimensions\"      true      true      false      50      Text      0
0,First,#,C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\Sen
naTower\\SennaTower.gdb\\Sample_T1_1,Dimensions,0,49;CD_Modulo
\"CD_Modulo\" true true false 255 Text 0 0,First,#;CD_Modulo_1 \"CD_Modulo\"
true true false 255 Text 0 0,First,#;CD_Modulo_12 \"CD_Modulo\" true true false
255 Text 0 0,First,#)

```

```

# Process: Delete (Delete) (management)
if Append_T0_2_:
    Delete_Succeeded =
arcpy.management.Delete(in_data=[Sample_T0_Value_])[0]

```

```

# Process: Delete (2) (Delete) (management)
if Append_T1_2_:
    Delete_Succeeded_2_ =
arcpy.management.Delete(in_data=[Sample_T1_Value_])[0]

```

```

return Append_T0_2_, Append_T1_2_

```

```

if __name__ == '__main__':
    # Global Environment settings
    with
arcpy.EnvManager(scratchWorkspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Docu
mentos\\ArcGIS\\Projects\\Radiation\\Radiation.gdb",
workspace="C:\\Users\\WINDOWS\\OneDrive\\Documentos\\ArcGIS\\Projects\\
Radiation\\Radiation.gdb"):
    Model21(*argv[1:])

```

ATESTADO DE VERSÃO FINAL

Eu, Guilherme Braghirolli, vinculado ao Programa de Pós Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental - PPGPlan, declaro que esta é a versão final de minha tese intitulada: **Quantificação de Perdas na Geração de Energia Solar Causadas pelo Sombreamento de Edificações Adjacentes** sob orientação do(a) professor(a) Dr. Francisco Henrique de Oliveira.

Florianópolis, 28 de Julho de 2025.

Assinatura do(a) Estudante

 Documento assinado digitalmente
GUILHERME BRAGHIROLI
Data: 29/07/2025 10:03:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Guilherme Braghirolli

Assinatura do(a) professor(a) orientador(a)

 Documento assinado digitalmente
FRANCISCO HENRIQUE DE OLIVEIRA
Data: 29/07/2025 09:46:15-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira