

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Laís Ehlert Martini

**ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO SOLAR EM UM CAMPUS
UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL**

Santa Maria, RS.
2019

Laís Ehlert Martini

**ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO SOLAR EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO NO SUL
DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ísis Portolan dos Santos
Coorientador: Prof^o. Dr.^o Fábio Lúcio Lopes Zampieri

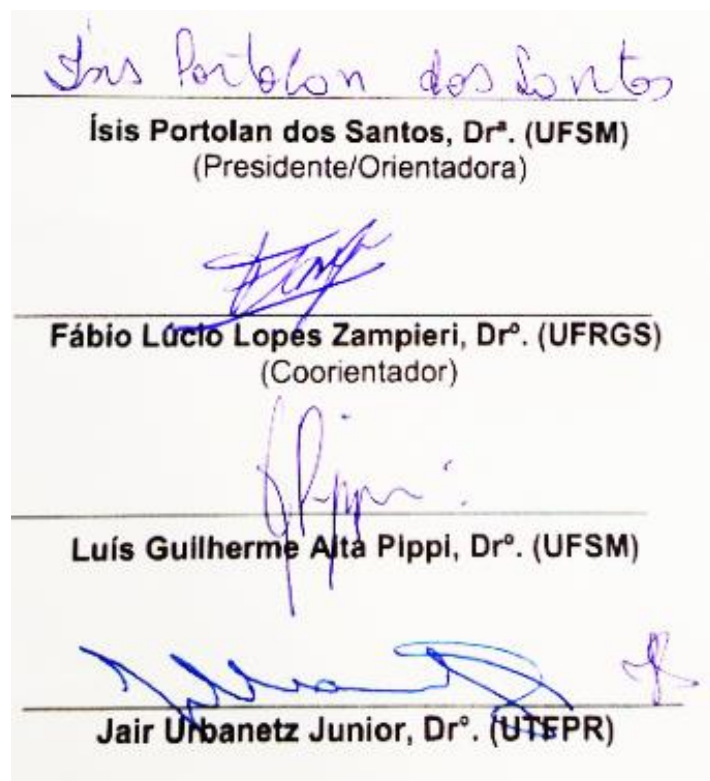
Santa Maria, RS.
2019

Laís Ehlert Martini

ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO SOLAR EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 11 de novembro de 2019:



Ísis Portolan dos Santos, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Fábio Lúcio Lopes Zampieri, Dr^o. (UFRGS)
(Coorientador)

Luís Guilherme Alta Pippi, Dr^o. (UFSM)

Jair Urbanetz Junior, Dr^o. (UTFPR)

Santa Maria, RS.
2019

Martini, Laís Ehlert
Análise da irradiação solar em um campus
universitário no sul do Brasil / Laís Ehlert Martini.-
2019.
165 p.; 30 cm

Orientadora: Ísis Portolan dos Santos
Coorientador: Fábio Lúcio Lopes Zampieri
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2019

1. Irradiação solar 2. SIG (Sistema de informação
geográfica) 3. Energia Solar Fotovoltaica 4. Impacto
entorno urbano I. Santos, Ísis Portolan dos II.
Zampieri, Fábio Lúcio Lopes III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, que foi a responsável por toda a minha formação acadêmica e me proporcionou tanto conhecimento e crescimento profissional. Tenho orgulho de ser UFSM!

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), em especial à Luciane, sempre tão disposta em auxiliar com os trâmites necessários.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Ísis Portolan do Santos, pela confiança e pela oportunidade de realizar este mestrado. Agradeço por sempre me incentivar a crescer e buscar mais, sendo a minha inspiração docente. O apoio e amizade tornaram esta trajetória mais leve e agradável.

Ao meu coorientador Prof^o. Dr^o. Fábio Zampieri pela disponibilidade, pela atenção e por ser sempre tão otimista.

A banca, Prof^o. Dr^o. Jair Urbanitz e Prof^o. PhD. Luís Guilherme Aita Pippi por terem aceitado o convite para compor a banca e contribuir com seus conhecimentos.

Aos meu pai, minha mãe e irmão, que sempre me incentivaram a estudar, me dando todo suporte e apoio. Obrigada por todo amor e segurança. Amo vocês!

Ao Raul pelo suporte e ajuda durante todo o período de desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas de mestrado Pâmela, Alessandra, Franciele, Charles e Cândida pela parceria e trocas de conhecimento durante o curso.

Aos colegas do TDI/Senac pela força e incentivo, em especial a Ana Noronha pela flexibilidade para que eu conseguisse finalizar esta dissertação com êxito.

Aos meus amigos e familiares, que sempre enviaram energias positivas neste período.

Obrigada a todos!

RESUMO

ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL

AUTORA: Laís Ehlert Martini
ORIENTADORA: Ísis Portolan dos Santos
COORIENTADOR: Fábio Lúcio Lopes Zampieri

Esta pesquisa tem o intuito de avaliar o comportamento da irradiação solar por sistema de informação geográfica (SIG) no campus da Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria, no sul do Brasil. A fim de avaliar a inserção de sistema fotovoltaicos para geração de energia de forma distribuída. Para isso, foi desenvolvido um mapeamento de ocupação volumétrica (topografia, edificações, arborização e pontos de ônibus) do campus universitário da UFSM com ferramenta SIG, para estimar e calcular pelo Solar Analyst/ArcGIS (SIG) os níveis de irradiação solar disponíveis mensalmente e anualmente em toda área do campus. Estes dados de irradiação solar obtidos por SIG foram validados, comparando-os com dados reais medidos *in loco* pelo sistema solar fotovoltaico instalado no Colégio Politécnico da UFSM e também com dados de irradiação obtido pelo software Radiasol2. Posteriormente, identificou-se os valores de irradiação solar disponíveis na cobertura dos 26 pontos de ônibus, ampliando estes locais com um raio de abrangência de 30,00 metros, indicando locais prioritários e com menor sombreamento resultante do entorno construído e natural. Verificou-se também os espaços livres no campus que recebem os maiores níveis de irradiação solar na superfície do solo para indicar áreas potenciais para locação de novas usinas solares fotovoltaicas de potência de 100 kW e 1 MW. Então, estimou-se a geração energética dos pontos de ônibus e usinas FV comparando com a demanda de energia elétrica no campus da UFSM, para verificar sua contribuição energética. Assim, conclui-se que os valores de irradiação solar fornecidos pelo Solar Analyst/ArcGIS (SIG) apresentam confiabilidade para aplicação no estudo. Percebeu-se que o predomínio de bloqueios dos raios solares na cobertura das paradas de ônibus ocorre majoritariamente pela vegetação arbórea em altura, sendo que dentre 26 pontos de estudos analisados seria vantajoso a aplicação de sistema fotovoltaicos em 13 abrigos, classificados em um ranking com os índices de radiação. E pela dimensão das usinas FV, identificou-se sete zonas potenciais para locação de usina FV de 100 kW e uma zona potencial para usina FV de 1 MW. Por fim, considerando que o gasto energético anual da UFSM é de 16.000.302,8 kWh/ano, se as 8 Usinas FV de 100 kW cada estivessem ativas, estas seriam capazes de suprir 5,69% desta demanda energética. Em contrapartida, a Usina de 1 MW poderia proporcionar uma economia de aproximadamente 7,15% deste consumo anual energético da UFSM. Assim, esta pesquisa estudou a aplicação de ferramenta SIG como metodologia para mapear o ambiente urbano e identificar os níveis de irradiação solar recebidos na superfície terrestre, a fim de potencializar a geração de energia elétrica por tecnologia fotovoltaica.

Palavras-chave: Irradiação solar. SIG (Sistema de informação geográfica). Energia Solar Fotovoltaica. Impacto entorno urbano.

ABSTRACT

SOLAR IRRADIATION ANALYSIS FOR A UNIVERSITY CAMPUS IN SOUTH BRAZIL

AUTHOR: Laís Ehlert Martini
ADVISOR: Ísis Portolan dos Santos
CO-ADVISOR: Fábio Lúcio Lopes Zampieri

This research aims to evaluate the behavior of solar irradiation by geographic information system (GIS) on the campus of the Federal University of Santa Maria, in the city of Santa Maria, south of Brazil. In order to evaluate the insertion of photovoltaic systems for distributed power generation. For this, a mapping of volumetric occupation (topography, buildings, afforestation and bus stops) of the UFSM university campus with GIS tool was developed to estimate and calculate by Solar Analyst / ArcGIS (GIS) the solar radiation levels available monthly and annually throughout the campus area. These solar irradiation data obtained by GIS were validated by comparing them with actual data measured on site by the photovoltaic solar system installed at the UFSM Polytechnic College and also with irradiation data obtained by the Radasol2 software. Subsequently, the solar radiation values available in the coverage of the 26 bus stops were identified, extending these locations with a coverage radius of 30,00 meters, indicating priority locations and less shading resulting from the built and natural surroundings. The free areas on campus that received the highest levels of solar irradiation on the ground surface were also verified to indicate potential areas for leasing of new 100 kW and 1 MW photovoltaic solar plants. Then, it was estimated the energy generation of the bus stops and PV plants comparing with the electric energy demand in the UFSM campus, to verify their energy contribution. Thus, it is concluded that the solar irradiation values provided by Solar Analyst / ArcGIS (GIS) have reliability for application in the study. The predominance of sun block in the bus stop cover is mainly due to the tall tree vegetation, and among 26 studied points it would be advantageous to apply photovoltaic system in 13 shelters, classified in a ranking of radiation receives. And by the size of the PV plants, seven potential zones for 100 kW PV plant rental and one potential zone for 1 MW PV plant were identified. Finally, considering that UFSM's annual energy expenditure is 16.000.302,8 kWh/ year, if the 8 100 kW PV Plants were active, they would be able to supply 5,69% of this energy demand. By contrast, the 1 MW plant could save approximately 7,15% of this annual energy consumption from UFSM. Thus, this research studied the application of GIS tool as a methodology to map the urban environment and identify the levels of solar radiation received on the terrestrial surface, in order to enhance the power generation by photovoltaic technology.

Keywords: Solar irradiation. GIS (Geographic Information System). Photovoltaic Solar Energy. Impact on urban environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética elétrica mundial.....	21
Figura 2- Matriz energética Brasileira.....	23
Figura 3 - Demonstração do Sistema Interligado Nacional (SIN).....	24
Figura 4 - Série histórica do consumo total de energia elétrica no Brasil (1970-2018) e previsão de demanda para o período de 2020-2050.....	25
Figura 5 - Estimativa de fontes alternativas de energia.....	26
Figura 6 - Capacidade global e anual do Sistema Solar Fotovoltaico no período de 2008-2018.	27
Figura 7 - Componentes da radiação solar.	29
Figura 8 - Translação da Terra e localização dos trópicos.	30
Figura 9 - Movimento de rotação da Terra.	31
Figura 10 – a) Declinação do Sol ao longo do ano em relação ao observador no hemisfério Sul b) Configuração da sombra do ambiente edificado pela declinação..	31
Figura 11 - Piranômetro termoeletrico (a) e fotovoltaico (b).	32
Figura 12 - Interface Radiasol2.	34
Figura 13 - Latitude e longitude.....	36
Figura 14 - Sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transverso de Mercator).	37
Figura 15 - Estrutura raster e estrutura vetor.	38
Figura 16 - Mapa resultante das camadas de informação georeferenciada.....	39
Figura 17 – Composição do Painel FV (módulo e células).....	40
Figura 18 - Tecnologias FV existentes e suas principais características.	41
Figura 19 – Exemplos de módulos fotovoltaicos (a) (b) silício policristalino, (c) silício amorfo, (d) filmes finos com encapsulamento flexível, (e) CIS e (f) silício monocristalino com encapsulamento vidro-vidro.....	42
Figura 20 - Tipo de sistemas fotovoltaicos	43
Figura 21 - Sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).	44
Figura 22 - Usina Solar Fotovoltaica de Tauá 1 MW, pioneira no mercado brasileiro.	47
Figura 23 - Lei de Direito ao Sol do heliocaminus da Roma Antiga.	49
Figura 24 - Construção do envelope solar e ângulos de altura solar.	50
Figura 25 - Cânion urbano e o acesso da radiação solar.....	51

Figura 26 - Fluxograma metodologia.....	54
Figura 27 - Localização geográfica do Campus da UFSM.	55
Figura 28 – Levantamento aerofotogramétrico campus UFSM.	56
Figura 29 - Levantamento planialtimétrico cadastral da UFSM.....	57
Figura 30 - Modelo TIN do campus da UFSM.	58
Figura 31 – Representação do levantamento das edificações do campus e seus dados de altura representados na tabela de atributos.	59
Figura 32 – Representação do levantamento da vegetação arbórea nativa, exótica e imune ao corte no campus da UFSM.	60
Figura 33 - Área de estudo onde realizou-se o levantamento florístico no campus da UFSM.	61
Figura 34 - Parte do levantamento arbóreo no campus da UFSM disponibilizado pela PROINFRA/UFSM.....	62
Figura 35 - Raster com informações dos levantamento de dados do campus da UFSM (altitude em metros).	64
Figura 36 - Interface da ferramenta Area Solar Radition do ArcMap.....	65
Figura 37 - Localização do sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico nas dependências da UFSM.....	66
Figura 38 – Sistema FV do Colégio Politécnico da UFSM.	67
Figura 39 – Representação do levantamento das pontos de ônibus existentes no campus da UFSM.....	69
Figura 40 - Módulo geral das paradas de ônibus UFSM.	69
Figura 41- Abrigos de ônibus modelo padrão da UFSM instalados CCSH (a) e HVU (b).....	70
Figura 42 - Planta baixa do modelo de ponto de ônibus com módulos fotovoltaicos.	78
Figura 43 - Corte de modelo ponto de ônibus com módulos fotovoltaicos.	78
Figura 44 - Uso do solo na UFSM.....	80
Figura 45 -Usina FV da UFSM em parceria com RGE Sul e CPFL Energia.	81
Figura 46 – Planta baixa da Usina FV de 100 kW.....	81
Figura 47 - Planta baixa da Usina FV de 1 MW.	83
Figura 48 - Mapa raster topográfico.	86
Figura 49 - Mapa raster de densidade construtiva (edificações).....	87
Figura 50 - Gráfico de verticalização construtiva UFSM.	88

Figura 51 - Mapa raster vegetação arbórea nativa, exótica e imune ao corte.....	89
Figura 52 - Mapa raster alturas gerais (topografia, edificação e arborização).	90
Figura 53 - Gráfico irradiação média diária mensal do campus UFSM em kWh/m ² . .	94
Figura 54 - Mapa irradiação solar média máxima anual do campus UFSM em Wh/m ²	95
Figura 55 - Gráfico comparativo valores médios de irradiação solar mensal SIG x Radiasol em kWh/m ² com inclinação 0°.	97
Figura 56 - Gráfico comparativo valores médios de irradiação solar mensal Piranômetro Colégio Politécnico x Radiasol2 em kWh/m ² com inclinação de 10°.	99
Figura 57 - Pontos de ônibus no campus UFSM.	101
Figura 58 - Mapa com o ranking dos 13 pontos de ônibus com melhores níveis de irradiação solar.	129
Figura 59 - Localização dos espaços livres potenciais para instalação das usinas FV de 100 kW.	132

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Altura média estipulada para vegetação arbórea no campus UFSM de acordo com bibliografia de referência.	62
Tabela 2 - Pontos de ônibus.....	71
Tabela 3 – Consumo de energia elétrica da UFSM no período de 2014 até 2018, dado em kWh.	84
Tabela 4 - Figuras com o valor médio de irradiação máxima mensal do campus da UFSM no período de um ano em kWh/m ²	92
Tabela 5 - Dados média de irradiação solar mensal e anual por SIG (Solar Analyst) e Radasol com inclinação 0°.	96
Tabela 6 – Dados médios de irradiação solar mensal e anual por Radasol2 e Piranômetro do Colégio Politécnico da UFSM com inclinação de 10°.	98
Tabela 7 – Dados médios de irradiação solar mensal e anual dado pelo Solar Analyst (SIG) em relação ao Piranômetro do Colégio Politécnico da UFSM e Radasol2 com inclinação de 10°.	100
Tabela 8 – Comparativo e diferença percentual entre os dados mensais do Solar Analyst (SIG) e do Radasol2 com diferente inclinação e desvio azimutal.	102
Tabela 9 - Ponto ônibus 1: Ipê Amarelo.	104
Tabela 10 - Ponto ônibus 2: RU II.	105
Tabela 11 – Ponto de ônibus 3: Acessibilidade.....	106
Tabela 12- Ponto ônibus 4: Jardim Botânico.....	107
Tabela 13 - Ponto ônibus 5: Geografia.....	108
Tabela 14 - Ponto ônibus 6: CAL.	109
Tabela 15 - Ponto ônibus 7: Agronomia.	110
Tabela 16 - Ponto ônibus 8: CCSH.	111
Tabela 17 - Ponto ônibus 9: Colégio Politécnico.	112
Tabela 18 - Ponto ônibus 10: Fitotecnia.....	113
Tabela 19 - Ponto ônibus 11: Zootecnia.....	114
Tabela 20 - Ponto ônibus 12: Tambo.	114
Tabela 21 - Ponto ônibus 13: Veterinária II.	115
Tabela 22 - Ponto ônibus 14: HVU.....	116
Tabela 23 - Ponto ônibus 15: Agittec.	117
Tabela 24 - Ponto ônibus 16: Centro de Eventos.....	118

Tabela 25 - Ponto ônibus 17: Educação Física.....	119
Tabela 26 - Ponto ônibus 18: Reitoria.....	120
Tabela 27 - Ponto ônibus 19: Paradaão.....	121
Tabela 28 - Ponto ônibus 20: Planetário.....	121
Tabela 29 - Ponto ônibus 21: CEU.....	122
Tabela 30 - Ponto ônibus 22: Biblioteca Central.....	123
Tabela 31 - Ponto ônibus 23: HUSM.....	124
Tabela 32 - Ponto ônibus 24: Bancos.....	125
Tabela 33 - Ponto ônibus 25: Incubadora.....	126
Tabela 34 - Ponto ônibus 26: CT.....	127
Tabela 35 - Ranking dos pontos de ônibus com maior níveis de irradiação solar na cobertura.....	128
Tabela 36 - Média mensal (período 2014-2018) do consumo energético no campus da UFSM.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
Absolar Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica
BAPV sistemas FV aplicados à edificação, do inglês *Building-Applied Photovoltaics*
BEN Balanço Energético Nacional
EPE Empresa de Pesquisa Energética
CEPEL Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CRESESB Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito
FV Fotovoltaico
GD Geração Distribuída
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA Internacional Energy Agency
INRI/UFSM Instituto de Redes Inteligentes da UFSM
IPLAN/SM Instituto de Planejamento de Santa Maria
kW Quilowatts
LABSOL/UFRGS Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
MME Ministério de Minas e Energia
MW Megawatts
m-Si Silício Monocristalino
NBR Norma Brasileira
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEP Organização dos Países exportadores de Petróleo
PROINFRA Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROINFRA/UFSM Pró-Reitoria de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Maria
p-Si Silício Policristalino
SWERA Solar and Wind Energy Resource Assessment
SIN Sistema Interligado Nacional
SFVCR Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIG Sistema de Informação Geográfica
T&D Transmissão e Distribuição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivos Específicos.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	CONTEXTO ENERGÉTICO	21
2.2	FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	26
2.3	ENERGIA SOLAR.....	28
2.4	DADOS SOLARIMÉTRICOS	32
2.4.1	Instrumentos de medição, estações meteorológicas e dados de satélite	32
2.4.2	Ferramentas computacionais – Software Radiasol2	33
2.4.3	Sistema de Informação Geográfica (SIG) – <i>Solar Analyst</i>	34
2.5	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	40
2.5.1	Mobiliário urbano para geração de energia	45
2.5.2	Usinas fotovoltaicas para geração de energia	46
2.5.3	Sombreamento e impacto do entorno na geração fotovoltaica	48
3	METODOLOGIA	53
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DO CAMPUS DA UFSM	55
3.2	MAPEAMENTO DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO CAMPUS	64
3.3	ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE IRRADIAÇÃO	66
3.4	SIMULAÇÃO DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PONTOS DE ÔNIBUS	68
3.5	AVALIAÇÃO DOS ESPAÇOS LIVRES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	79
3.6	COMPARATIVO DE GERAÇÃO COM CONSUMO ENERGÉTICO DA UFSM	83
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
4.1	DADOS DO CAMPUS DA UFSM	85
4.2	NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO CAMPUS	91
4.3	ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE IRRADIAÇÃO	96
4.4	PONTOS DE ÔNIBUS COM POTENCIAL PARA GERAÇÃO ENERGIA FV	100
4.5	ESPAÇOS LIVRES COM POTENCIAL PARA GERAÇÃO ENERGIA FV	131
4.5.1	Usina 100 kW	131
4.5.2	Usina 1 MW	138
5	CONCLUSÃO	144
	REFERÊNCIAS.....	146
	ANEXOS	152

ANEXO A – MÓDULO PADRÃO DOS PONTOS DE ÔNIBUS UFSM.....	152
ANEXO B – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JANEIRO.....	153
ANEXO C – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE FEVEREIRO.....	154
ANEXO D – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE MARÇO.....	155
ANEXO E – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE ABRIL.....	156
ANEXO F – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE MAIO.....	157
ANEXO G – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JUNHO.....	158
ANEXO H – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JULHO.	159
ANEXO I – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE AGOSTO.....	160
ANEXO J – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE SETEMBRO.....	161
ANEXO L – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE OUTUBRO.....	162
ANEXO M – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE NOVEMBRO.	163
ANEXO N – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE DEZEMBRO.	164
ANEXO O – PROJETO USINA FV 100 KW ATIVA NO CAMPUS UFSM.	165

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente concentração populacional nos centros urbanos é inevitável o aumento do consumo energético em escala mundial e nacional. Para acompanhar esta progressiva demanda de energia elétrica é importante explorar possibilidades de geração com responsabilidade ambiental, que seja produzida de maneira limpa.

Atualmente, as principais fontes geradoras de energia elétrica no Brasil são as usinas hidrelétricas, que estão praticamente em uso máximo e incapazes de suprir a crescente demanda. Com isso, há a necessidade de empregar outras fontes de energia, preferencialmente renováveis, para permitir o contínuo desenvolvimento e menor impacto ambiental. Dentre as opções, tem-se a energia solar, que é considerada uma fonte inesgotável e amplamente disponível na superfície terrestre.

Neste cenário os sistemas fotovoltaicos se destacam, apresentando uma tecnologia para converter a irradiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Isso é possível mediante a produção energética em escala local, em que o sistema pode ser conectado diretamente à rede da concessionária de energia, convertendo a energia gerada em créditos para uso posterior. O que evita perdas em transmissão e distribuição, além de não ter a necessidade do uso de baterias para armazenamento.

A contribuição nas demandas energéticas por meio da geração distribuída permite aos consumidores, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais, a produção de energia elétrica em suas próprias unidades consumidoras, ao invés da simples compra das concessionárias. A ANEEL, através da Resolução Normativa REN nº 687, de 24 de novembro de 2015, legisla essa possibilidade perante o sistema. O resultado é uma maior diversificação das tecnologias empregadas na produção de energia, proporcionando benefícios em relação as perdas associadas ao transporte e distribuição da energia elétrica.

Desta forma, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) podem ser classificados em dois viés: os urbanos e as grandes centrais. Os urbanos apresentam duas características distintas, podendo ser com o sistema fotovoltaico integrado à edificação (BIPV) ou o sistema fotovoltaico aplicado à edificação (BAPV). Enquanto as grandes centrais configuram a construção de usinas solares fotovoltaicas, que permitem a geração de energia elétrica em grande escala.

Para os sistemas fotovoltaicos urbanos, o potencial de uso desta tecnologia necessita o conhecimento dos níveis de irradiação solar disponíveis em cada local. Para vincular a geração energética aliada ao planejamento urbano pode-se integrar a tecnologia fotovoltaica em mobiliários urbanos. Assim sendo, o sistema fotovoltaico aplicado aos pontos de ônibus configura-se um BAPV. Visto que os pontos de ônibus são mobiliários urbanos indispensáveis para a atividade da cidade, pois concentram os passageiros em local determinado para que sigam os itinerário de transporte, que é determinado pelo poder público.

Assim a urbanização também deve atender aos conceitos de eficiência energética, de forma que as concentrações urbanas sejam capazes de realizar as atividades humanas que consomem energia com um gasto inferior, sem comprometer seu desempenho. Uma possibilidade interessante de geração de energia, e capaz de ser gerenciada pela administração pública, são os equipamentos e mobiliários urbanos que proporcionam o funcionamento organizacional do sistema.

Em relação as grandes centrais, as usinas solares fotovoltaicas utilizam os mesmos equipamentos que os sistemas fotovoltaicos urbanos, porém em tamanho e complexidade diferenciado. De forma que os módulos FV são instalados na altura do solo por meio de estruturas próprias, em que toda a energia gerada pode ser destinada para distribuição na rede elétrica.

Então, para que o sistema solar fotovoltaico tenha um bom resultado na geração de energia é importante que os níveis de irradiação recebidos nos módulos estejam livres de interferências do entorno. Assim, ao serem propostos em centros urbanos, é de suma importância que seja realizado algum estudo prévio dos espaços livres de barreiras e sombreamento, a fim de avaliar quais possuem bons níveis de irradiação solar disponíveis.

Desta forma, a disponibilidade desta irradiação é caracterizada pelo acesso da fonte solar no meio urbano sem obstáculos do entorno, que resultam em sombreamento advindos do ambiente construído e natural. Os espaços urbanos com grande densidade construtiva são diretamente afetados em relação à temperatura superficial, fluxo de ar, radiação e iluminação solar, pois esses fatores estão relacionados com a altura das edificações e a largura das vias.

Portanto, esse trabalho visa identificar os níveis de irradiação solar disponíveis no campus da Universidade Federal de Santa Maria utilizando sistema de informação geográfica (SIG), que fornece uma visão global do espaço por mapas. O campus

universitário da UFSM se configura como uma mini cidade, também denominado como “cidade universitária”, por atender demandas da população e ter uma configuração urbana. Assim, é possível verificar como o impacto do meio construído e natural afetam no sombreamento do espaço público, interferindo na geração de energia por tecnologia fotovoltaica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento da irradiação solar por sistema de informação geográfica (SIG) no campus da Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, a fim de avaliar a inserção de sistemas fotovoltaicos para geração de energia de forma distribuída.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver o mapeamento de ocupação volumétrica do campus universitário da UFSM levando em consideração: topografia, edificações, vegetação arbórea e pontos de ônibus, para aferir a geometria solar no campus e seu sombreamento;

- Estimar os níveis de irradiação solar disponíveis no campus, mensalmente e anualmente, a partir de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que calcula a radiação recebida relacionada com a volumetria;

- Comparar os dados obtidos por SIG, os dados obtidos por *software* Radiasol2 e dados reais medidos *in loco*, de sistema fotovoltaico instalado na UFSM, para validação;

- Identificar os níveis de irradiação solar que atingem a cobertura dos pontos de ônibus existentes no campus, com a finalidade quantificar a geração fotovoltaica atrelada a este mobiliário urbano, indicando os locais prioritários;

- Verificar os espaços livres no campus que recebem os maiores níveis de irradiação solar para indicar a locação de novas Usinas Fotovoltaicas, de 100 kW e 1MW, para orientar decisões de planejamento no campus;

- Calcular a geração energética dos pontos de ônibus (BAPV) e usinas FV, comparando com a demanda de energia elétrica no campus UFSM, para verificar sua contribuição.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente estudo realiza uma análise exploratória para o uso de ferramenta SIG como metodologia para estimativa de desempenho fotovoltaico para geração de energia. O sistema de informação geográfica (SIG) é uma ferramenta que promove uma visão global de determinada área por meio de mapas, o que oportuniza um maior controle e segurança nas tomadas de decisões em um contexto urbano. Além de proporcionar a sobreposição de camadas volumétricas, que impactam no recebimento da radiação solar na superfície terrestre.

No contexto urbano, elementos como edificações, arborizações e até mesmo topografia, com desníveis significativos, impactam no desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos em decorrência dos sombreamentos. Então, quando avalia-se a aplicação de tecnologia fotovoltaica em local específico, nem sempre é possível perceber oportunidades no entorno. Que podem, até mesmo, serem locais com maior potencial solar do que o estipulado inicialmente. Assim, o SIG pode ser um recurso eficaz nas tomadas de decisões para uma gestão de recursos mais vantajosa.

Deste modo, opta-se em trabalhar com o campus universitário da UFSM, pois tem uma configuração de “mini cidade” em um modelo de planejamento urbano. De forma que apresenta traçado urbano, vias, transporte público, edificações (serviços, comercial, residencial e administrativo), espaços livres composto por vegetação e recursos hídricos, entre outros.

Logo, o planejamento urbano auxilia no controle de qualidade das cidades, pois possibilita que o poder executivo, através do Plano Diretor, promova a organização das cidades. Para isso, é importante que as categorias que compõe a cidade, tais como: áreas construídas, espaços livres de lazer e recreação (praças e parques), transporte público, espaços livres de circulação, equipamentos, infraestrutura e mobiliários urbanos se interliguem de forma coerente para que o crescimento urbano seja sustentável.

Além disso, por estar localizado na cidade de Santa Maria, região sul do Brasil, apresenta características que afetam negativamente nos níveis de irradiação solar recebidos. Em consequência da latitude, visto que nesta localidade o ângulo de corte dos raios solares no inverno é maior, as barreiras do volume construído e natural resultam em maior sombreamento pelo envelope solar. Assim, nos demais locais do

Brasil próximos à linha do Equador, os níveis de irradiação podem até apresentar vantagens.

A decisão de trabalhar com duas escalas de geração tão distintas, ponto de ônibus FV e Usina FV, está relacionada com os diferentes investimentos recebidos pelo setor público e privado em relação a tecnologia fotovoltaica. Apresentando para a gestão opções de investimento em P&D relacionado a tecnologia FV, independentemente da disponibilidade financeira.

Os pontos de ônibus são mobiliários urbanos que auxiliam na organização das cidades, sendo um item essencial nas que dispõem de transporte público. Portanto, como no campus universitário da UFSM nem todos os pontos de ônibus possuem abrigos físicos, poderia ser uma sugestão a inserção do modelo com módulos FV na cobertura em novos investimentos. Levando em consideração as localidades que apresentam bons níveis de irradiação solar recebidos em sua cobertura e livres de sombreamento.

Já as usinas FV, que necessitam de grandes áreas para serem instaladas no nível do solo, também requerem maiores investimentos financeiros. Por isso, é importante que a sua localização garanta que o retorno de geração energética seja o melhor possível, aproveitando as potencialidades do espaço e evitando zonas que possam impactar negativamente o sistema com sombreamentos ou menores níveis de irradiação solar recebidos. Assim, a ferramenta SIG pode apresentar informações para tomada de decisões favoráveis em uma escala global.

Portanto, este estudo pode apresentar algumas alternativas para mapeamento e identificação dos níveis de irradiação solar disponíveis, a fim de incentivar o uso de tecnologia fotovoltaica para pesquisa e investimentos entre parcerias educacionais do setor público e privado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

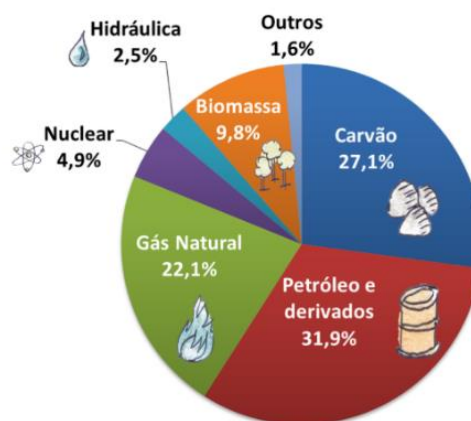
2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO

A energia está relacionada com a capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema físico têm de realizar trabalho, e pode ser obtida por meio de transformação de diversas fontes. Então, de acordo com a extração, as fontes podem ser classificadas como não renováveis e renováveis.

Em uma escala global, grande parte da energia consumida é oriunda de fontes não renováveis, também conhecidas como fontes de energia convencional, sendo elas: petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear. São denominadas assim, pois as características destas fontes são bem consolidadas, possuindo grande rendimento energético, preços atrativos, além de gerar emprego e possuírem infraestruturas construídas, que possibilitam geração e distribuição de energia. Porém, petróleo e carvão mineral também são os grandes responsáveis pela liberação de gases de efeito estufa na atmosfera, já que estas fontes são combustíveis e precisam efetuar a queima para gerar energia, liberando assim, gases poluentes que impactam no meio ambiente.

A matriz energética consiste no conjunto de fontes que subsidiam o fornecimento de energia global. A Figura 1 demonstra a composição da matriz energética mundial, que é composta basicamente por fontes não renováveis como o carvão, petróleo e gás natural (IEA, 2018).

Figura 1 - Matriz energética elétrica mundial.



Fonte: IEA (2018) adaptado pelo EPE.

Na década de 70, a Organização dos Países exportadores de Petróleo (OPEP), por motivos políticos optaram em aumentar o preço do petróleo e diminuir a produção, o que resultou em uma alta no valor do barril, endividando muito países dependentes deste fonte, o que sucedeu na crise do petróleo (IPEA, 2016).

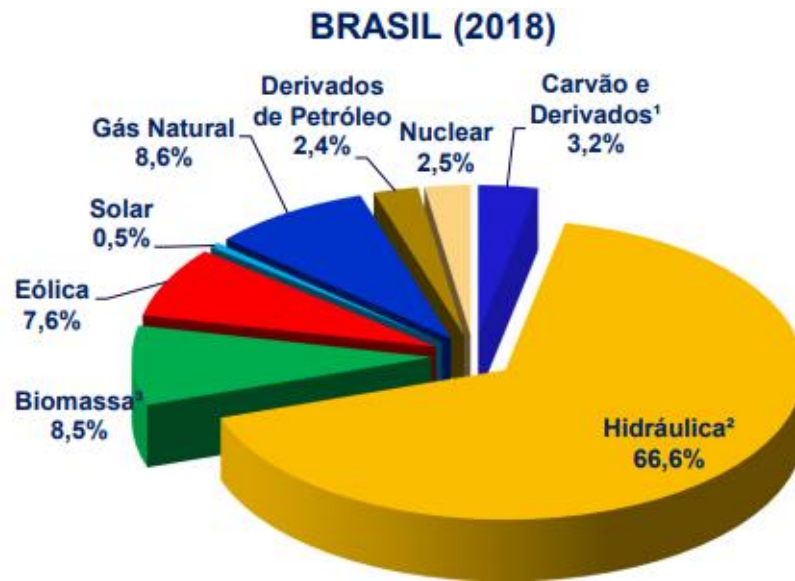
Este marco na economia mundial associado à constante concentração populacional nos centros urbanos, que iniciou na década de 80, fez com que a produção energética tivesse que iniciar um processo de expansão para superar a crise. Mesmo assim não foi o suficiente, tanto que no ano de 2018, a demanda global energética superou o valor de 2,3%, sendo considerado o maior aumento em uma década. Este superávit está relacionado ao crescimento econômico global (3,7%) e a busca por conforto ambiental (aquecimento e arrefecimento), sendo que países como China, Estados Unidos e Índia respondem juntos por 70% do aumento total da demanda (REN21, 2019).

Em uma escala global, a evolução do consumo energético baseado em combustíveis fósseis direcionou a construção de uma matriz energética finita e com impactos negativos ao meio ambiente. Como consequência, diversos países objetivam a necessidade de mudanças no seu setor energético, prevendo a diversificação e aproveitamento de outras fontes de energia, como as renováveis (GELLER, 2003).

As fontes de energia renováveis são consideradas inesgotáveis, pois são restauradas constantemente ao longo do uso. Além disso, podem ser limpas, pois emitem menos gases de efeito estufa do que as fontes fósseis. São exemplos de fontes renováveis: hídrica (água dos rios), solar (sol), eólica (vento), biomassa (matéria orgânica), geotérmica (interior da Terra), oceânica (marés e ondas) e hidrogênio (energia química da molécula de hidrogênio) (EPE, 2018).

Em relação à matriz energética elétrica brasileira (Figura 2), a origem é predominantemente de fonte renovável hidráulica (66,6%), sendo complementada por não renováveis como os combustíveis fósseis (14,2%) e nucleares (2,5%). Além de uma menor parcela de renováveis, como a biomassa (8,5%), eólica (7,6%) e solar (0,5%).

Figura 2- Matriz energética Brasileira.

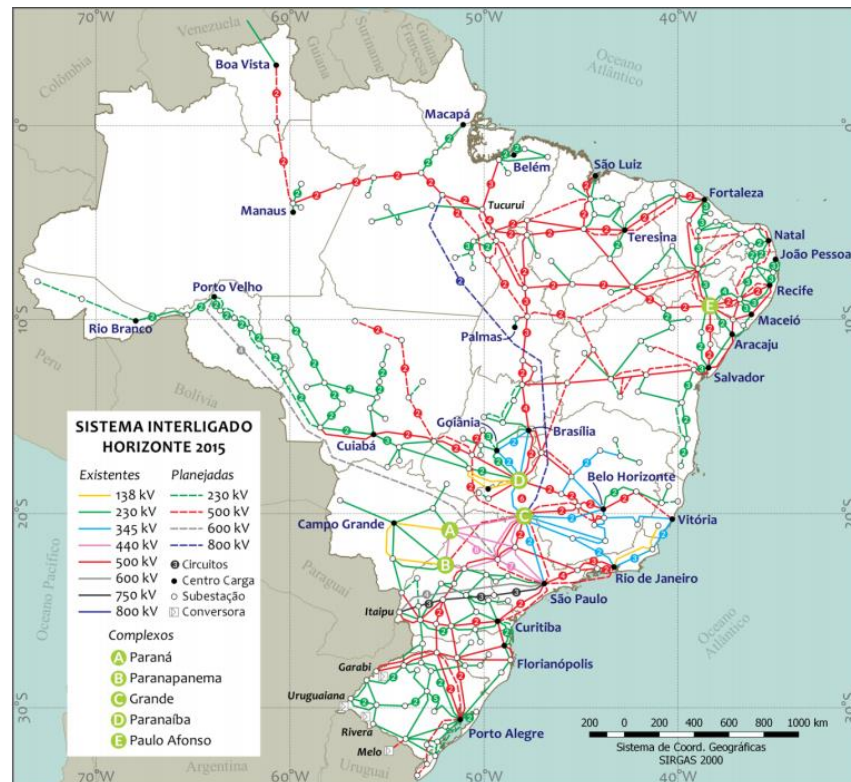


Fonte: BEN (2018).

O sistema gerador brasileiro apresenta-se inerentemente como hidráulico de grande porte, com preponderância de usinas hidrelétricas de múltiplos proprietários, sendo empresas provenientes de diferentes regiões do país. Este modelo de geração de energia foi projetado e construído durante o regime militar. Neste caso, questões de impacto ambiental e social eram vistas como consequências secundárias diante da necessidade e urgência em suprir as demandas energéticas do país e assegurar seu crescimento econômico. Observa-se que época, década de 70, foi marcada pela crise do petróleo que desolou o mundo (ONS, 2015; FILIPINI & SORIA, 2010).

Atualmente, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil ocorre por meio de malhas interconectadas denominada Sistema Interligado Nacional (SIN), ilustrado na Figura 3. Este sistema hidro-termo-eólico de grande porte, predominantemente composto por usinas hidrelétricas, atendem todas as regiões do país por meio da produção de energia elétrica que possibilita o suprimento do mercado consumidor (ONS, 2015).

Figura 3 - Demonstração do Sistema Interligado Nacional (SIN).



Fonte: ONS (2015).

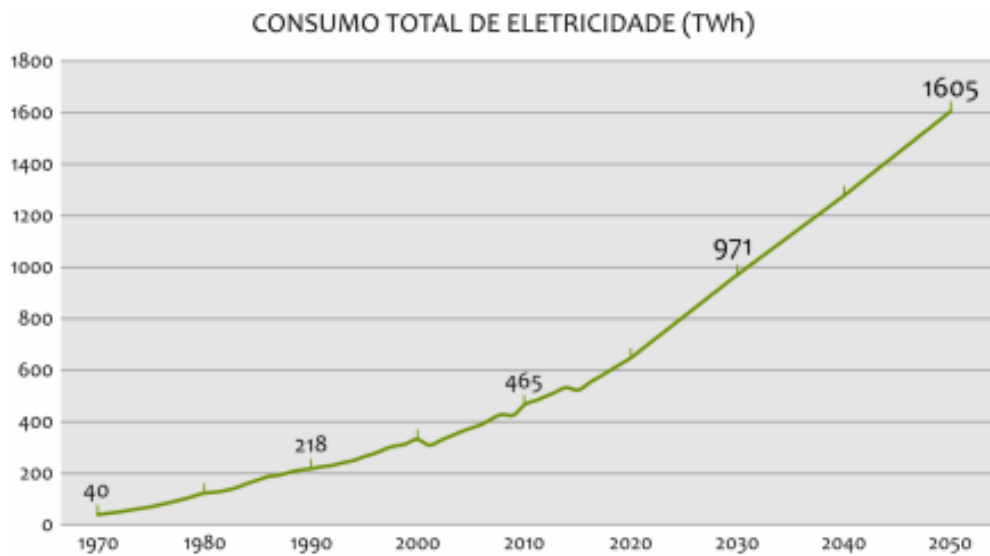
Embora este Sistema Interligado Nacional (SIN) possua dimensionamento e características que possibilitam conceituá-lo como exclusivo no âmbito mundial, as perdas associadas ao desvio de energia (transmissão e distribuição) chegam a 15%, e estão associadas a fatores como a distância entre os centros de consumo e as grandes usinas (PEREIRA, 2017).

Mesmo diante das melhorias, no ano de 2016 a produção hidrelétrica no Brasil apresentou declínio na geração energética devido à escassez das chuvas que provocaram seca e baixos níveis de água no reservatórios. O que resultou em sobretaxas nas tarifas de eletricidade nacional e uma necessidade em importar eletricidade dos países vizinhos (REN21, 2019).

Ademais, o consumo energético no Brasil está em contínua elevação, em consequência das grandes concentrações urbanas aliadas a difusão de novos equipamentos tecnológicos, que fornecem conforto ambiental de forma artificial. Esse cenário acarreta um maior consumo energético, desta forma dados disponíveis no relatório anual do Balanço Energético Nacional (BEN, 2018), demonstrados na Figura

4, apresentam a série histórica do consumo total de energia elétrica no Brasil (1970-2018) e a previsão de demanda para o período de 2020-2050.

Figura 4 - Série histórica do consumo total de energia elétrica no Brasil (1970-2018) e previsão de demanda para o período de 2020-2050.



Fonte: BEN (2018).

Em decorrência da vulnerabilidade do recurso hídrico associada ao crescente consumo e demanda de eletricidade, entende-se a necessidade de avaliar outras possibilidades para geração de energia. Visto que a construção de usinas hidrelétricas de grande porte já foram muito exploradas, novos aproveitamentos hidrelétricos são cada vez mais raros devido aos altos custos de implantação e a pressão da sociedade em relação aos impactos ambientais e sociais decorrentes destes grandes reservatórios (FILIPINI & SORIA, 2010; TIEPOLO, 2015).

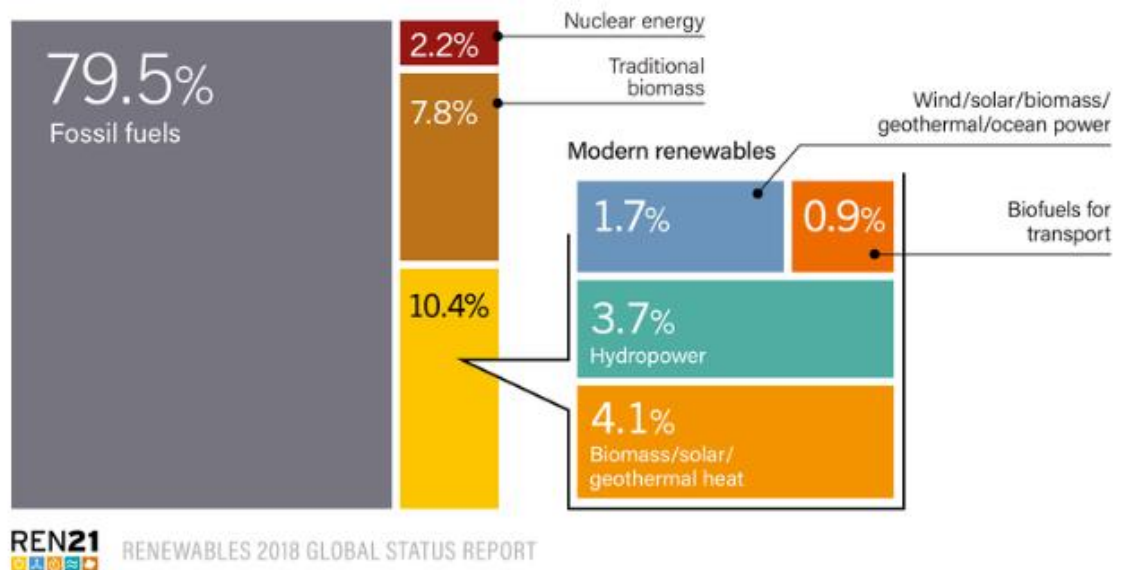
Em contrapartida ao modelo de geração hidrelétrica com sistema integrado que foi priorizado no Brasil, tem-se o conceito de geração de energia descentralizada, denominada como geração distribuída (GD). Este modelo caracteriza-se por produzir energia elétrica próximo ao ponto de consumo, evitando perdas no transporte de energia, o que contribui com a eficiência energética (EPE, 2010).

Em suma, independente da fonte energética é necessário suprir a crescente demanda elétrica com responsabilidade, para isso é inevitável a diversificação desta matriz energética, sendo uma opção o uso de fontes alternativas de energia.

2.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Nos dias de hoje, as fontes de combustíveis fósseis ainda predominam na matriz energética mundial, representando 79,5% do consumo final (Figura 5). Embora as fontes renováveis retratem somente 18,2%, uma parcela considerada “moderna” está em ascensão, do qual é representada pela biomassa, solar e eólica (10,4%). No período de 2007-2017 a capacidade destas energias renováveis aumentou mais de seis vezes, chegando perto de serem consideradas competitivas em relação as fontes convencionais existentes no mercado (REN21, 2019).

Figura 5 - Estimativa de fontes alternativas de energia.



Fonte: REN21 (2019).

De acordo com o relatório de energia REN21 (2019), o ano de 2017 foi considerado um recorde para energia renovável, reconhecido pelo maior aumento na capacidade de geração energética, além da queda nos custos, o que resulta em maiores investimentos e aumento nas tecnologias de viabilidades. Este crescimento na implantação e produção de energia renovável foi de 9% em relação ao ano de 2016, uma estimativa de 178 GW instalados em todos o mundo. Esta alta relaciona-se a fatores, como: aumento do acesso ao financiamento, preocupação sobre segurança energética, meio ambiente e saúde humana, demanda crescente por energia em economias emergentes e em desenvolvimento, necessidade de acesso a

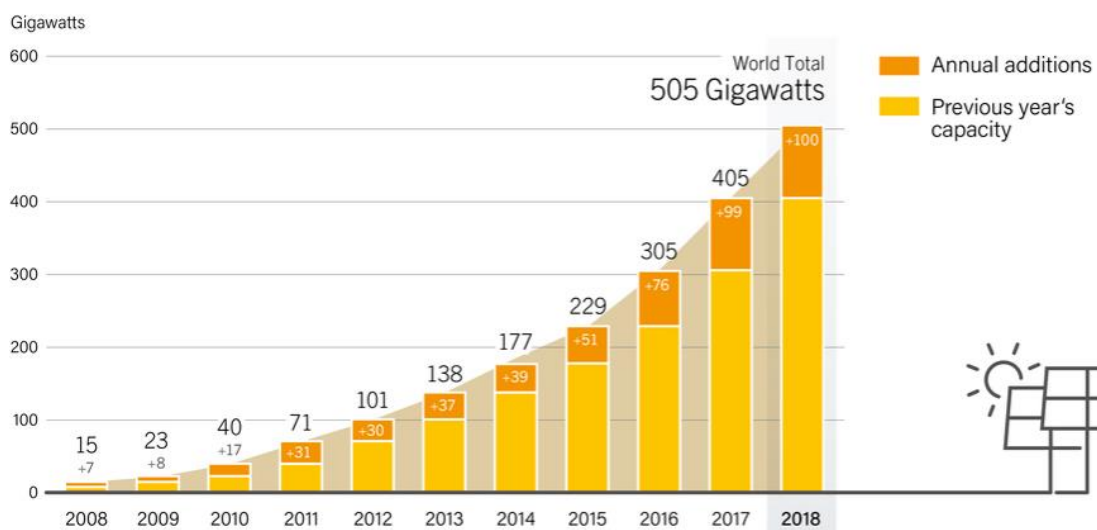
eletricidade, iniciativas políticas dedicadas e metas estabelecidas pelos governos em todos os níveis.

Dentre as possibilidades, a biomassa oriunda de recurso orgânico (origem animal ou vegetal) possibilita a produção de energia de diferentes maneiras, como a combustão direta, processos termoquímicos e processos biológicos. Segundo Freitas (2016) o uso da biomassa como fonte de energia elétrica no Brasil tem aumentado, de modo que, no ano de 2013 ocupou a terceira posição em oferta de energia, superando a nuclear e derivados de petróleo.

Para complementar as fontes renováveis modernas, a energia eólica recebe um crescente investimento pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFRA) do Ministério de Minas e Energia pela qualificação da indústria brasileira atrelado ao menor custo da energia proveniente desta fonte. Além disso, algumas regiões do Brasil apresentam grande potencial eólico (143,5 GW conforme Atlas o Potencial Eólico Brasileiro), apontado como latente meio de geração energética (PEREIRA et al., 2017)

Já o sistema solar fotovoltaico aumentou a capacidade acumulada em 2018, assim superando a nível de 100 GW de energia renovável recém-instalada dentro e fora da rede (Figura 6). Sendo o tipo de maior adesão dentre as tecnologias de geração de energia, atuando em mercados importantes como Alemanha, China, Índia, Japão e Estados Unidos, além de mercados emergentes e Europa (REN21, 2019).

Figura 6 - Capacidade global e anual do Sistema Solar Fotovoltaico no período de 2008-2018.



Fonte: REN21 (2019).

2.3 ENERGIA SOLAR

O Sol é a estrela central do sistema solar e fornece energia em forma de radiação. Esta energia irradiada é produto das reações de fusão nuclear, que convertem átomos de Hidrogênio (75% de sua composição) em Hélio (25% da composição do Sol), sendo que neste processo parte da massa é transformada em energia. Assim, o Sol se caracteriza com um grande reator de fusão, emitindo taxas energéticas a bilhões de anos de maneira constante. Caracterizada por um ser uma esfera gasosa, o sol é composto por várias camadas desde o núcleo até a superfície, sendo que no envoltório externo a temperatura chega a 5 500°C (THE GERMAN SOLAR ENERGY SOCIETY, 2008; CECATTO, 2010).

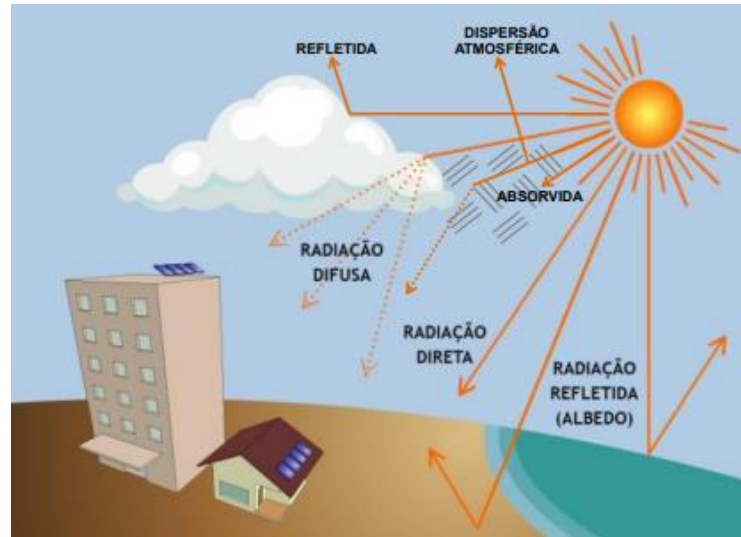
O Sol emite radiações eletromagnéticas, que são constituídas de campos elétricos e magnéticos oscilantes, se propagando no vácuo com velocidade constante. Por encontrar-se a uma distância de 150 milhões de quilômetros do planeta Terra, apenas uma pequena parcela da radiação solar atinge o globo terrestre. Mesmo assim, o recebimento anual de energia solar equivale a $1,5 \times 10^{18}$ kWh, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial neste período. Assim, constitui-se como uma fonte inesgotável de energia, caracterizada como potencial a ser explorada para sistema de captação e conversão de energia (PINHO; GALDINO, 2014; BITTENCOURT, 2015).

Em virtude da relação espacial entre o Sol e Terra, a fração de radiação que atinge uma superfície perpendicularmente é denominado Constante Solar, e possui um valor médio de 1367 W/m² fora da atmosfera terrestre. A Constante Solar, também é denominada como Irradiância, representando a quantidade de energia solar radiante que atinge uma unidade da área de superfície, sendo o valor dado em W/m². No entanto, a radiação solar ao atingir internamente a superfície terrestre, reduz estes níveis em decorrência de fatores como reflexão, absorção e dispersão, resultando em valor médio de 1000 W/m² (KREITH & KREIDER, 1978; RÜTHER, 2004).

Então, esta parte da radiação que atinge a superfície da Terra e incide sobre uma superfície receptora para geração energética é constituída basicamente por parte direta e parte difusa. A radiação direta se caracteriza pelo fornecimento imediato por um feixe sem interrupções de componentes atmosféricos e produz sombras nítidas. Em contrapartida, a radiação difusa deriva de inúmeras direções e atinge a superfície depois de espalhada por moléculas, aerossóis e nuvens (Figura 7).

Desta forma, a soma da radiação direta e da radiação difusa caracteriza-se como radiação solar global, que é medida sobre uma superfície horizontal. A radiação solar global horizontal (H) é variável durante o ano, em consequência das estações do ano e oscilações diárias (MARTINAZZO, 2004).

Figura 7 - Componentes da radiação solar.



Fonte: Viana (2010).

De acordo com Pinho & Galdino (2014, p.77):

Mesmo em um dia totalmente sem nuvens, pelo menos 20% da radiação que atinge a superfície é difusa. Já em um dia totalmente nublado, não há radiação direta, e 100% da radiação é difusa. Notadamente, se a superfície estiver inclinada em relação à horizontal haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculo, terrenos rochosos, etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de "albedo".

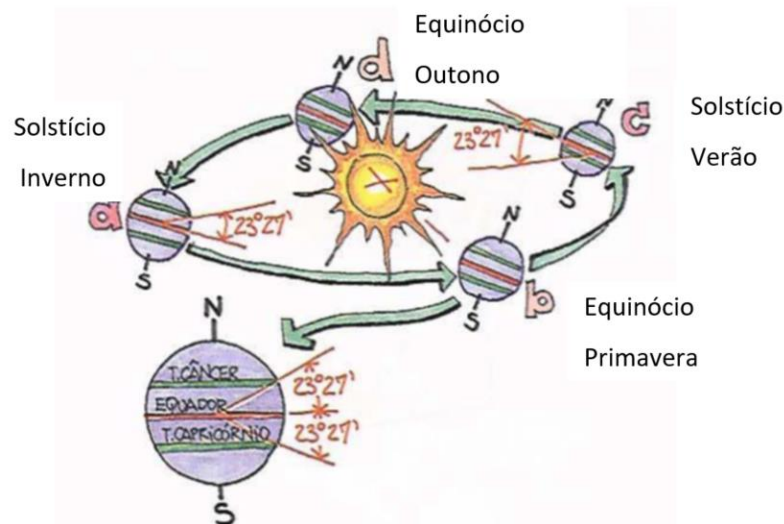
Desta maneira, a radiação solar está relacionada ao fluxo energético em geral, enquanto a irradiância considera-se a energia por unidade de área. Bem como, se a energia da irradiância solar for relacionada a um período de tempo, obtém-se a irradiação global, que é dada em kWh/m² (TIEPOLO, 2015).

A variação da irradiância na Terra no decorrer do ano é consequência da geometria terrestre, visto que o planeta Terra gira em torno do Sol em uma órbita

elíptica, sendo que um volta completa leva 365,25 dias solares. Esta distinção energética recebida pela Terra alterna entre um máximo no solstício de verão e um mínimo no solstício de inverno; além de dois períodos de equilíbrio entre os extremos denominados equinócios (BITTENCOURT, 2015).

A origem das estações do ano se dá pelo movimento de translação da Terra em conjunto com a inclinação do seu eixo ao plano normal da elipse, com valor aproximado de $23^{\circ}27'$ (Figura 8). Esta inclinação denomina-se Declinação Solar (δ), caracterizado pelos raios do Sol em relação ao plano do Equador, desta forma varia entre $+ 23^{\circ} 27'$ no Trópico de Câncer em 21 de junho (solstício de inverno no hemisfério Sul) e $- 23^{\circ} 27'$ no Trópico de Capricórnio em 22 de dezembro (solstício de verão no hemisfério Sul); os raios solares se alinham com o plano do Equador (0°) nos dias 21 de setembro (equinócio de primavera) e 21 de março (equinócio de outono) (FROTA; SCHIFFER, 2016).

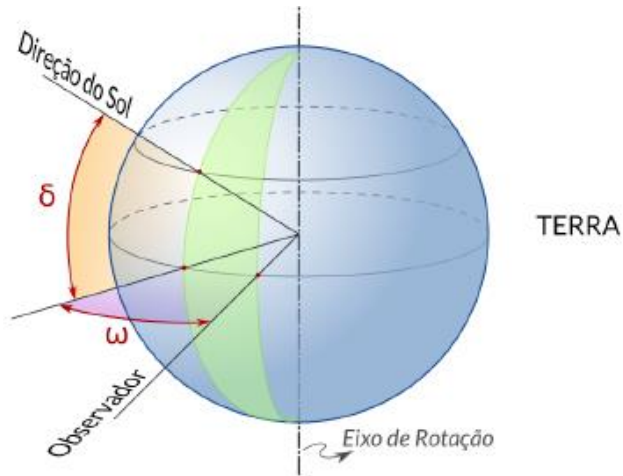
Figura 8 - Translação da Terra e localização dos trópicos.



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2014) adaptado pelo autora.

Além da translação terrestre, tem-se o movimento de rotação da Terra em torno de seu eixo (Figura 9), que configura o ciclo do dia e a incidência dos raios solares neste período. Esta variabilidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre está relacionado ao ângulo horário solar (ω), que varia entre -180° e $+180^{\circ}$; cada hora corresponde a 15° de variação angular do movimento aparente do sol e totaliza 24 horas diárias (PEREIRA et al., 2017).

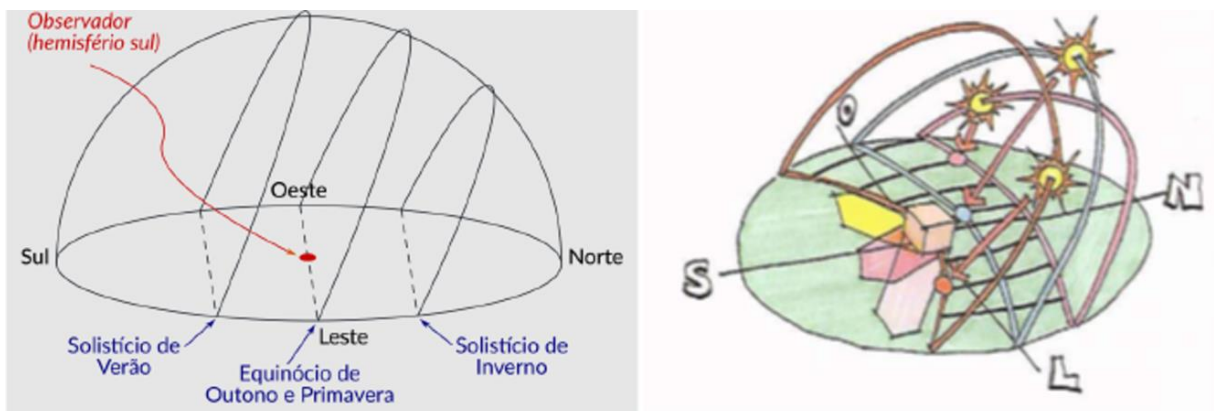
Figura 9 - Movimento de rotação da Terra.



Fonte: Pereira et al. (2017).

Assim, em decorrência destes movimentos terrestres, fica evidente algumas características habituais perceptíveis cotidianamente. Sendo a duração dos dias diretamente relacionado as estações do ano, apresentando dias mais longos durante o verão, quando o polo Sul está voltado para o Sol; e dias mais curtos no período de inverno, pois o polo Sul está na direção oposta ao Sol. Além de impactar nos valores de declinação do Sol ao longo do ano em relação ao observador, demonstrado na Figura 10 (PEREIRA et al., 2017).

Figura 10 – a) Declinação do Sol ao longo do ano em relação ao observador no hemisfério Sul b) Configuração da sombra do ambiente edificado pela declinação.



Fonte: (a) Pereira et al. (2017) (b) Lamberts; Dutra; Pereira (2014)

2.4 DADOS SOLARIMÉTRICOS

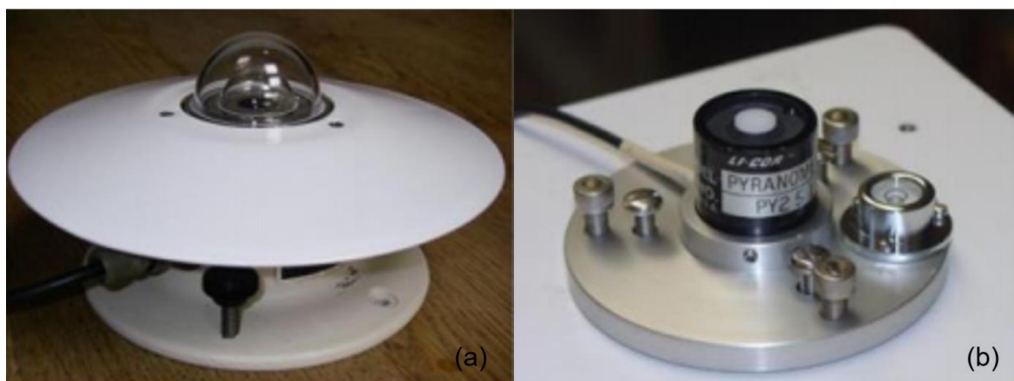
Para projetos que pretendem fazer aproveitamento e conversão da energia solar é de grande importância a medição da radiação, tanto a global como a direta e difusa. Assim, com uma relação de dados medidos, é possível planejar e viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em determinada região, aproveitando todo o potencial do recurso solar apesar das oscilações anuais (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com Pereira et al (2017), além de saber o potencial solar disponível, é muito importante que as informações sobre a variabilidade do recurso solar seja confiável, pois são elas que possibilitam o desenvolvimento de projetos e dão suporte ao viabilizar o aproveitamento desta fonte energética.

2.4.1 Instrumentos de medição, estações meteorológicas e dados de satélite

Com o propósito de apurar o fluxo energético em determinado período de tempo, o piranômetro faz a medição dos dados solares de irradiação global (direta e difusa) incidente na superfície, sendo que existem dois tipos de piranômetro: o termoeletrico e o fotovoltaico (Figura 11). O termoeletrico é utilizado para medir irradiância solar global no plano horizontal, capta por meio de um sensor de termopilha inserido entre duas semiesferas de vidro concêntricas. Já o fotovoltaico, é composto por uma célula fotovoltaica de silício monocristalino, visto que a banda de captação da resposta espectral de sensibilidade é limitada entre 400 a 1000 nm, enquanto o primeiro responde até 2500 nm (CRESESB, 2004).

Figura 11 - Piranômetro termoeletrico (a) e fotovoltaico (b).



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

De acordo com Melo (2012), inicialmente estes dados eram fornecidos exclusivamente por estações meteorológicas estabelecidas em diferentes regiões do mundo, que por interpolação dos dados apurados nestas estações meteorológicas, era obtido as informações de localidades onde não existia informações registradas. No Brasil, estes dados de irradiação solar são apurados por estações meteorológicas instaladas em diferentes localidades do país e são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

No entanto, hoje a disponibilidade destes dados medidos não depende exclusivamente de estações meteorológicas, que muitas vezes estão distante entre si ou a qualidade dos instrumentos para medição são baixas resultando em pouca precisão pela interpolação. Sendo assim, uma outra forma de obter as informações de radiação solar em diferentes localidades do mundo é por meio de satélites que geram imagens com grande alcance.

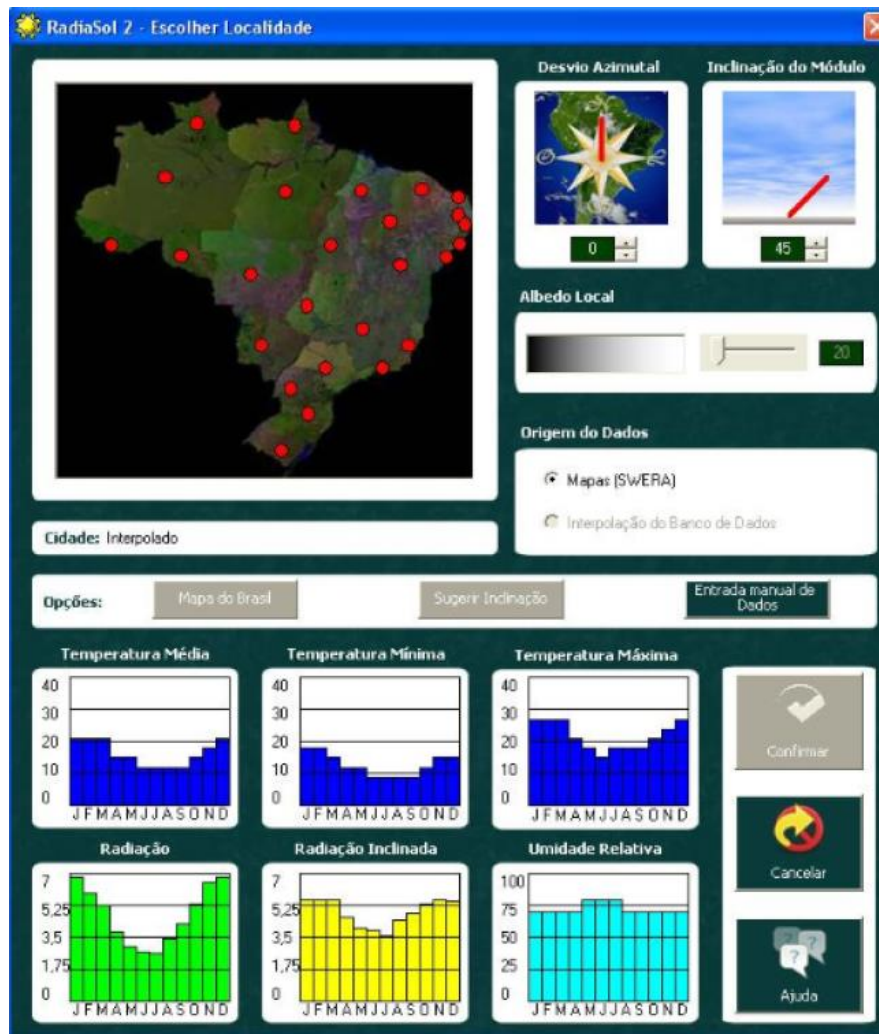
Nas últimas décadas, foram desenvolvidas tecnologias por métodos algoritmos com modelos físicos e estatísticos para estimar a irradiância no espaço terrestre a partir das imagens de satélite. Com um abrangência global, diversos projetos fornecem estes dados, como Meteonorm, NASA, SODA e SWERA (MELO, 2012).

2.4.2 Ferramentas computacionais – Software Radiasol2

Existe programas computacionais que permitem consultar dados de irradiação solar em determinada localização geográfica, dentre eles o Radiasol2 que foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O Radiasol2 (Figura 12) possui um banco de dados incorporado no sistema, contendo informações do Atlas Solarimétrico e do Programa SWERA, além de ferramentas de interpolação e busca de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Após selecionar a localização e orientação do plano em estudo, o programa permite que o usuário defina o ângulo de inclinação e o ângulo de orientação azimutal dos módulos fotovoltaicos. A partir disso, o programa sintetiza dados horários de irradiação solar global e calcula a irradiação horária sobre o plano inclinado, resultando em dados mensais, gráficos, horários de radiação solar (componentes direta e difusa) e dados de temperatura ambiente (KREZNINGER; BUGS, 2010; PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 12 - Interface Radiasol2.



Fonte: Krenzinger; Bugs (2010).

2.4.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG) – Solar Analyst

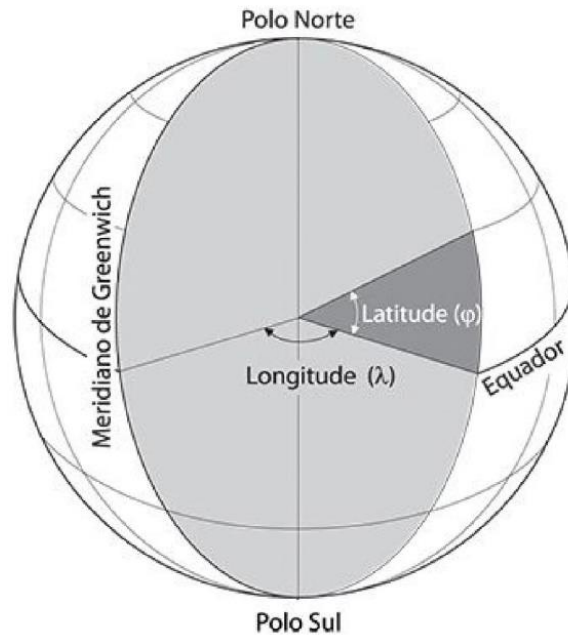
O geoprocessamento constitui uma área da ciência que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para tratar as informações geográficas. Assim, estrutura, verifica e representa os dados geográficos, praticando o cruzamento e superposição de informações a fim de realizar um mapeamento temático de maneira prática. Já o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um dos principais componentes do geoprocessamento, sendo ferramentas computacionais que possibilitam as integrações dos dados georreferenciados (ANEEL, 2002).

De acordo com Piroli (2010), os SIGs tem três aplicações básicas na geografia, sendo eles: ferramenta para produção de mapas temáticos e visualização de dados espaciais, suporte para análise com combinação de informações espaciais e banco de dados geográficos para armazenamento de informações. Porém, para manejar estes dados é importante que as informações de entrada no *software* estejam corretamente referenciadas, permitindo o processamento e integração das informações.

Dentre estes sistemas de entrada, está o sistema geodésico, que são parâmetros predeterminados por normas específicas e composto por informações de altimetria, gravimetria e planimetria. Cada país adota sistemas de referências próprios, que estão vinculados a estações existentes em diferentes localidades territoriais e coletam dados de aceleração da gravidade da geoide, sendo que no Brasil, o marco “zero” do marégrafo situa-se em Imbituba, Santa Catarina caracterizado como datum vertical. Com relação aos datuns horizontais, no Brasil o modelo estipulado para uso denomina-se como Sistema de Referência para as Américas (Sirgas) e foi desenvolvido pela necessidade de compatibilização com técnicas de posicionamento por satélite, como GPS (FITZ, 2013).

Para situar uma cidade em determinada localidade no planeta Terra é necessário informação de duas coordenadas geográficas: latitude (norte ou sul) e longitude (leste ou oeste), sendo que a latitude está relacionada ao Equador, enquanto que para a longitude ao Meridiano de Greenwich (Figura 13). Assim, a latitude vai de - 90° (Polo Sul) até + 90° (Polo Norte), sendo o Equador referência 0°. Na mesma proporção que, a longitude vai de - 180° (ou -12 horas) do oeste até + 180° (ou +12 horas) para o leste, com o Observatório de Greenwich (Inglaterra) no meridiano 0° (CECATTO, 2010).

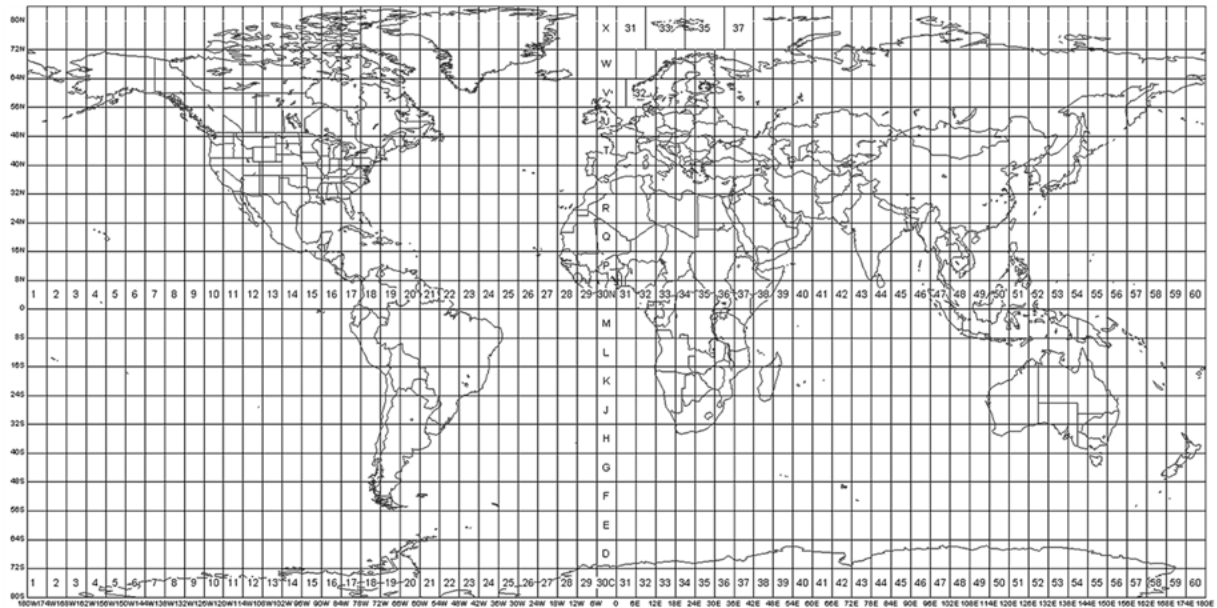
Figura 13 - Latitude e longitude.



Fonte: Fitz (2013).

Levando em conta sistemas cartográficos estabelecidos, é comumente adotado projeções cartográficas que trabalham com paralelos retos e equidistantes denominado Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM). Esse sistema UTM adota coordenadas planas/planas-retangulares (Figura 14), onde a origem é estabelecida pelo cruzamento do equador com um meridiano padrão específico, denominado Meridiano Central (MC). Estas coordenadas são pré-estabelecidas e especificadas na margem das cartas, possibilitando conhecer a localização da área trabalhada (FITZ, 2013).

Figura 14 - Sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transverso de Mercator).

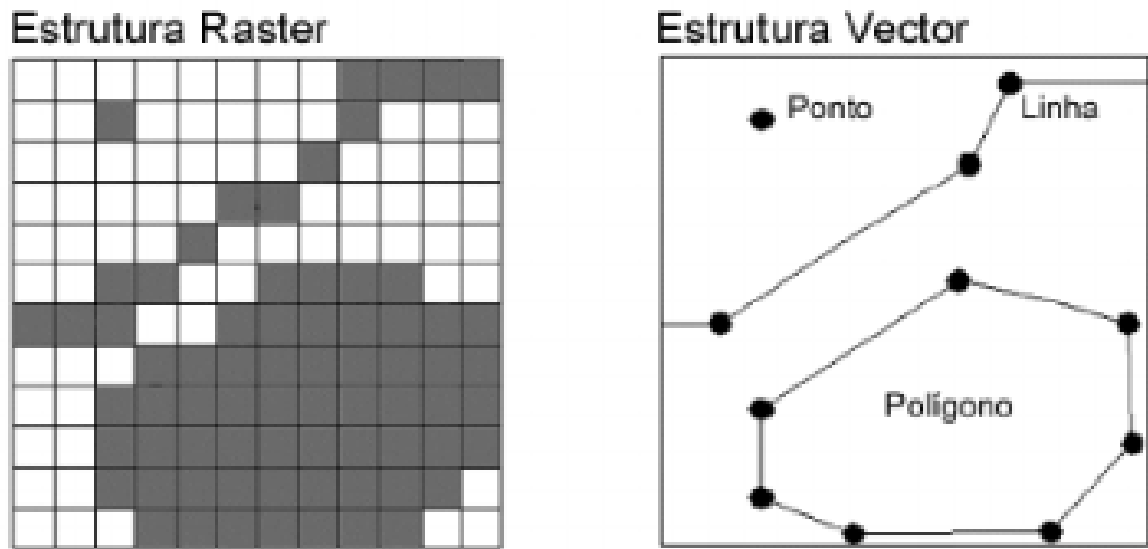


Fonte: Laboratório de Cartografia UFSM (2019).

No SIG as informações podem ser armazenadas basicamente de duas formas: estrutura vetor e estrutura raster (Figura 15). A estrutura vetor representa os itens espaciais na forma de ponto, linha ou polígono e armazena a localização geográfica. Desta forma, um par de coordenadas define um ponto; uma rede de pares de coordenadas caracteriza uma linha e quando nesta cadeia o primeiro e o último ponto se encontram, forma um polígono. As informações geográficas vetorizadas no mapa se vinculam a uma tabela de atributos, que permite atribuir valores espaciais aos elementos vetoriais por meio dos campos desta tabela (SABOYA, 2000).

Logo, os dados rasters são imagens digitais em que uma matriz de células (pixel) é organizada em grade, onde cada pixel possui um valor numérico e apresenta uma porção quadrada de área definindo sua resolução espacial. A resolução espacial é uma forma de escala, quanto maior a resolução maior o detalhe, e representa unidades de medida, de forma que, a localização geográfica é dada pelo coordenadas x e y, que corresponde à linha e coluna da matriz, respectivamente (LACRUZ; SOUZA, 2009).

Figura 15 - Estrutura raster e estrutura vetor.

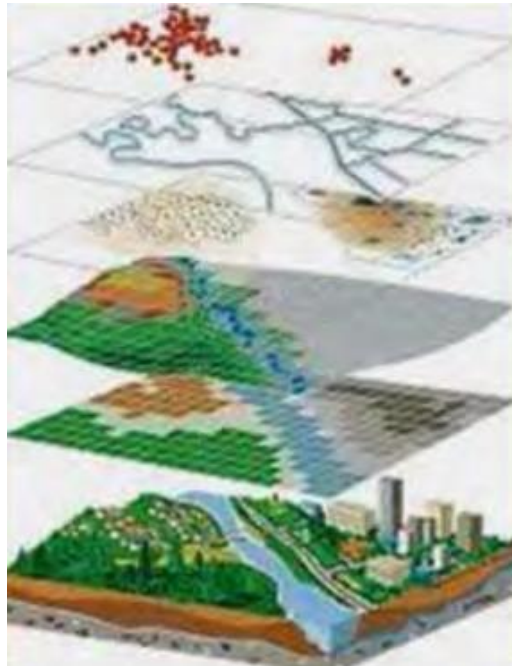


Fonte: Saboya (2000).

De acordo com Piroli (2010), os rasters representam a estrutura comum das imagens, podendo ser de satélite, fotografias aéreas digitais e mapas digitalizados. Por serem de fácil interpretação, representação e processamento permitem diversas operações de modelagem, simulação e superposição o que possibilita gerar novos mapas com variabilidades espaciais inéditas.

A análise espacial possibilita realizar diferentes associações temáticas, trabalhando assim com diferentes dados georreferenciados em uma mesma localização por meio de planos ou camadas de informação (Figura 16). Este conjunto de dados em inúmeros andares permitem desenvolver mapas de acordo com o interesse e a temática de estudo (LACRUZ; SOUZA, 2009).

Figura 16 - Mapa resultante das camadas de informação georeferenciada.



Fonte: Lacruz & Souza (2009).

Dentre as temáticas de estudos, o uso do geoprocessamento pode auxiliar na verificação da energia solar disponível sobre a superfície. Assim, a ferramenta SIG pode ser utilizada como elemento exploratório na determinação de locais adequados para implementação de tecnologias de geração de energia por meio das análises dos dados espaciais, que podem apoiar nas tomadas de decisões de maneira flexível, eficiente e prática (CHARABI; GASTLI, 2010).

A ferramenta *Solar Analyst*, uma extensão do software ArcGIS, permite mapear e analisar os efeitos do sol sobre determinada área geográfica por dado período de tempo. Este modelo foi desenvolvido por Fu e Rich (2000), estimando a irradiação solar de uma superfície com base em métodos algoritmos de visualização hemisférica. Desta forma, a ferramenta permite calcular o total de radiação global (direta e difusa) para determinada localização geográfica, levando em consideração as particularidades do entorno, construído e natural, resultando em mapas de irradiação solar.

O resultado visual destes mapas de irradiação solar são consequência de diversas variáveis, como localização geográfica, período do ano, orientação solar e efeito das sombras na topografia circundante, além de outros processos de

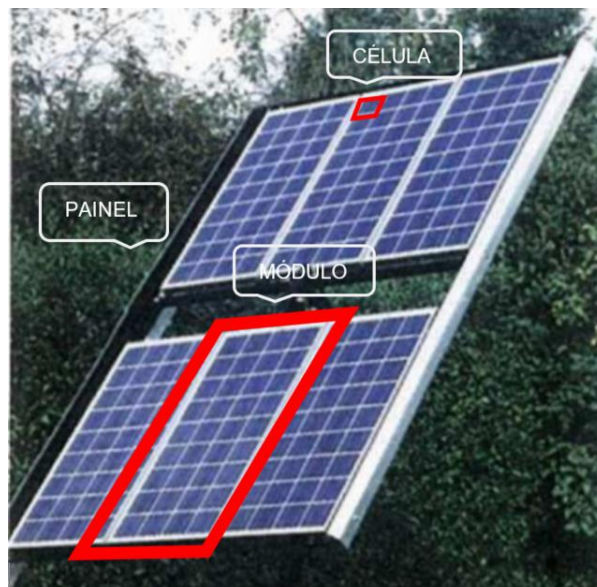
modelagem específicos, que podem ser integrados por meio de sobreposição de mapas (GONÇALVES; POSEIRO; DUARTE, 2015).

Desta forma, esta pesquisa visa fazer uso de ferramenta SIG para mapeamento do campus universitário da UFSM para identificar os níveis de irradiação solar disponíveis. De forma que permitir identificar áreas potenciais para geração de energia por sistema solar fotovoltaico. Assim, com um mapeamento completo, o olhar global da área possibilita um maior domínio e segurança nas tomadas de decisões, fazendo uso da tecnologia a favor da uma gestão eficiente.

2.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico, por meio dos painéis solares converte a energia do sol em energia elétrica, resultado de um fenômeno físico denominado efeito fotovoltaico. Sendo assim, na Figura 17 é possível observar que as células fotovoltaicas associadas em série/paralelo formam os módulos, que ao serem vinculados entre si, compõe o painel fotovoltaico (ZILLES; et al., 2012).

Figura 17 – Composição do Painel FV (módulo e células).



Fonte: The German Solar Energy Society (2008) adaptado pela autora.

As tecnologias aplicadas ao módulo solar fotovoltaico vêm se desenvolvendo nos últimos anos, e como consequência, existem diferentes gerações e materiais

aplicados comercialmente nas instalações (Figura 18). A primeira geração se caracteriza pela utilização do silício cristalino (c-Si), que subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), sendo considerada uma das tecnologias de maior eficiência e consolidada, com dominância de 85% do mercado (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 18 - Tecnologias FV existentes e suas principais características.



Fonte: Gaviria (2013).

A segunda geração denominada filmes finos para aplicações fotovoltaicas, se subdivide em silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Dentre essas tecnologias, os módulos de CIGS são os que demonstraram melhor desempenho no rendimento energético (RÜTHER, 2004).

A terceira geração são intituladas como células orgânicas ou poliméricas, ainda é uma tecnologia em estudo e desenvolvimento, sendo produzida em pequena escala para testes (PINHO; GALDINO, 2014). Segundo Alves (2011), esta tecnologia utiliza semicondutor orgânico, que realiza o transporte das cargas, e é produzido de um composto de polímero condutor e derivado de fulereno, considerada uma possível opção, que seja favorável economicamente para conversão de energia solar.

Na Figura 19, alguns exemplos de módulos fotovoltaicos de diferentes gerações, podem ser observados.

Figura 19 – Exemplos de módulos fotovoltaicos (a) (b) silício policristalino, (c) silício amorfo, (d) filmes finos com encapsulamento flexível, (e) CIS e (f) silício monocristalino com encapsulamento vidro-vidro.



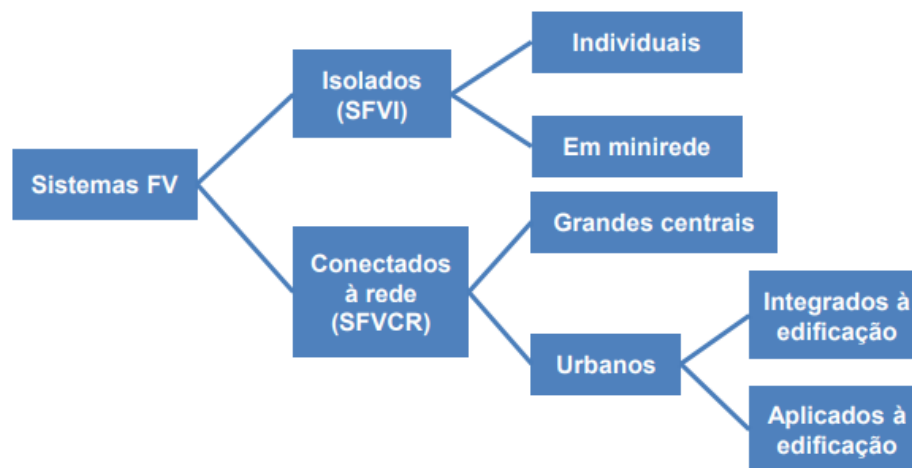
Fonte: Almeida (2012).

O desempenho do sistema fotovoltaico está relacionado com as saídas reais e teóricas do sistema, demonstrando o percentual de energia disponível para injetar na rede após a dedução de perdas de energia, sendo expressa em porcentagem (%). Estas perdas podem ocorrer em consequência da temperatura de operação, do cabeamento elétrico, da conversão de corrente contínua em alternada no inversor, do sombreamento, entre outras razões (ANTONIOLLI, 2015).

Outros fatores que interferem diretamente no sistema fotovoltaico é a produtividade do sistema, também denominada como Yield (Y). A produtividade é a relação entre a energia gerada sobre a potência instalada no sistema, com o resultado expresso em kWh/kWp (ANTONIOLLI, 2015).

Quanto à aplicação dos Sistemas fotovoltaico, podem ser isolados (SFVI) ou conectados à rede (SFVCR), conforme visualizado na Figura 20. Os sistemas fotovoltaicos isolados são usualmente instalados em situações em que não há acesso a rede elétrica, sendo necessário armazenar a energia por meio de baterias. Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são considerados geração distribuída (GD) em baixa ou média tensão ao longo da rede elétrica, disponibilizando energia perto do consumo (URBANERTZ, 2010).

Figura 20 - Tipo de sistemas fotovoltaicos



Fonte: Urbanertz (2010).

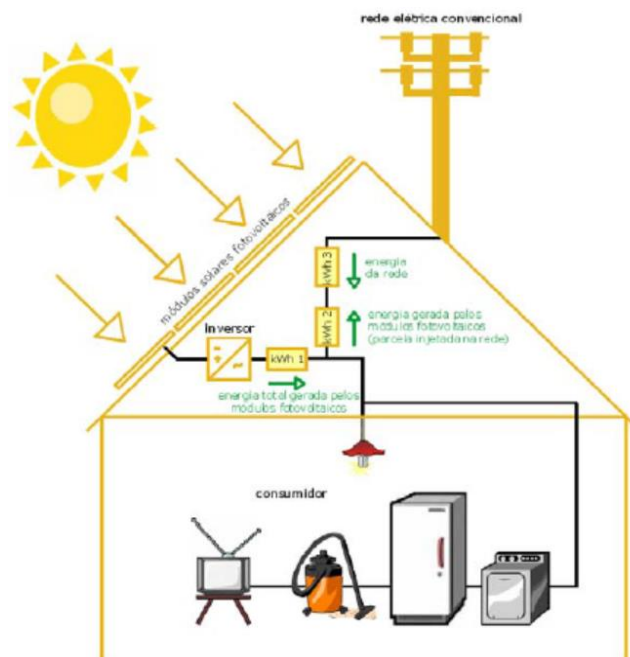
A integração a tecnologia fotovoltaica com geração distribuída nas zonas de uso misto, residencial e comercial/serviço, apresenta melhores adequações a implantação do sistema. Pois essas zonas geralmente são servidas por um único alimentador, que possibilitam que a energia gerada durante o dia nas residências, tenha uso imediato nos locais que se caracterizam por funcionar em horários comerciais (SANTOS, 2009).

Quando a zona de aplicação está relacionada ao setor comercial e de serviços, segundo Rütther (2004), esse sistema é demasiado eficiente energeticamente pois, quando a demanda de eletricidade para o uso de ar condicionado está no ápice é quando temos a máxima irradiação, resultando em uma curva de geração coincidente com a de consumo.

4.4.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) se caracterizam por não armazenar a energia produzida por meio de baterias, pois a própria rede pública é utilizada como sistema de armazenamento. O sistema é composto por painéis fotovoltaicos e os inversores, que sincronizam os módulos com a rede (ANTONIOLLI, 2015), a Figura 21 demonstra o funcionamento do sistema.

Figura 21 - Sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).



Fonte: Rüter (2004).

De acordo com Rüter (2004), os SFVCR é a tipologia ideal de aplicação do sistema fotovoltaico, pois alivia o sistema de distribuição da concessionária elétrica, decorrente da equivalência entre os picos de consumo e geração de energia.

Esse modelo de sistema foi regulamentado pela Resolução nº 482/2012 da ANEEL, que originou os microgeradores (potência instalada menor que 75 kW) e minigeradores (potência instalada entre 75 kW e 5 MW) de energia. Já no ano de 2015 foi publicada um decreto complementar, a Resolução Normativa – REN nº 687, de 24 de novembro de 2015, que estabelece o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir

de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Assim, a energia elétrica produzida em escala local pode ser utilizada para consumo, particular ou empresa, e o excedente encaminhado para a rede da concessionária de energia, gerando créditos que podem ser utilizados posteriormente.

Diante desta situação que o sistema fotovoltaico se torna viável como forma de investimento, compensando o gasto de implantação. Assim, além dos sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, é possível a inserção no mobiliário urbano para de geração de energia.

2.5.1 Mobiliário urbano para geração de energia

Para geração de energia no ambiente urbano e em menor escala, uma opção é BAPV, ou seja, integração de sistemas fotovoltaicos à itens edificados. Dentre estes itens, os mobiliário urbanos são vistos com uma possibilidade.

Como forma de implementar e qualificar as cidades, os mobiliários auxiliam no planejamento urbano organizando o espaço público, além de criar uma imagem própria para a cidade. São considerados mobiliários urbanos os objetos e equipamentos em escala reduzida, que se caracterizam por prestar serviço à sociedade ou apoiar alguma atividade urbana. Ademais, proporcionam maior conforto aos transeuntes, sendo estes: bancos, luminárias, bicicletários, lixeiras, floreiras, pontos de ônibus, entre outros (SOUZA; GANDARA, 2013).

De acordo com o manual da cidade de Londres (*Streets for All*), a implantação e o desenho dos mobiliários urbanos devem ser desenvolvidos com o intuito de tornar as ruas mais atrativas, seguras e agradáveis aos usuários. Sendo comprovado que as vias mais usuais pelos cidadãos possuem particularidades, caracterizadas pelos elementos urbanos (LONDON, 2000).

Os mobiliário urbanos são organizados de acordo com as dimensões que possuem, sendo considerados de grande porte os que possuem um altura superior a dois metros ou ocupam uma área maior que dois metros quadrados. De acordo com Guedes (2005, p. 41), “também se encaixam nesta categoria aqueles equipamentos cuja presença configuracional seja marcante ao meio ambiente, e aqueles que promovem baixos índices de permeabilidade visual”, diante disso, entende-se como um potencial a ser explorado no espaço urbano.

Em decorrência do volume, os pontos de ônibus são elementos estruturais de grande porte, que podem auxiliar na criação de microclimas ambientais, visto que possuem cobertura, o que contribui com o conforto térmico dos usuários em relação ao entorno (ANANIAN; FONTES; SILVA, 2005).

Assim, é iminente que o planejamento urbano relacione mobiliário urbano com o espaço público em prol do conforto ambiental, então segundo John & Reis (2010, p. 13):

“a relação entre o mobiliário urbano, as edificações de entorno deve ser considerada, para que se tenha êxito no projetos de implantação desses elementos no espaço público. A falta de correspondência entre o mobiliário e as edificações do meio pode interferir negativamente na leitura visual do espaço”

Além disso, ao avaliar o posicionamento dos pontos de ônibus no contexto urbano fica evidente a capacidade de assumir uma atribuição sustentável. Portanto, ao relacionar tecnologia fotovoltaica ao mobiliário urbano é possível obter ganhos na geração de energia, que é impactada pelo entorno natural e construído.

À vista disso, percebe-se a importância de mapear os pontos de ônibus e seu entorno, a fim de avaliar os níveis de irradiação solar recebidos e seu potencial energético de acordo com a localização geográfica. Para isso, a ferramenta SIG pode ser de grande valia na identificação destas zonas nos centros urbanos, sendo que, este estudo pode ser reaplicado em outras cidades que pretendam incorporar tecnologia fotovoltaica atrelado ao mobiliário urbano.

2.5.2 Usinas fotovoltaicas para geração de energia

No cenário nacional, mesmo o Brasil apresentando potencial solar para geração de energia com tecnologia fotovoltaica em grande escala como as usinas fotovoltaicas, ainda não atingiu patamares de competitividade no mercado. Em um contexto mundial, mesmo em países que apresentam potenciais solares inferiores, esta fonte tem apresentado crescimento nos últimos anos, sendo consequência dos maiores incentivos recebidos (PERAZA, 2013).

Desde o ano de 2014, o Brasil vem apresentando maiores incentivos para promover o desenvolvimento de centrais geradoras fotovoltaicas, sendo que neste ano ocorreu o primeiro leilão estadual em Pernambuco para comercialização de

energia solar fotovoltaica, que vem se repetindo em diversos locais. De forma que no ano de 2019, as usinas fotovoltaicas no Brasil em operação totalizam 2,48 GW de potência instalada, que representa um potencial de crescimento no setor (ALENCAR; URBANETZ, 2016; BIG/ANEEL, 2019).

Porém, para este tipo de instalação é necessário a disponibilidade de grandes espaços livres para ocupação, além de uma análise potencial solar no local e as possibilidades de conexão com o sistema elétrico integrado. Por isso, esta geração de energia de forma centralizada ainda está pouco evidente no mercado, possuindo uma potência instalada muito inferior que as demais fontes (PERAZA, 2013).

A primeira Usina Solar em escala comercial na América Latina foi instalada em Tauá, no estado do Ceará, pelo grupo MPX por meio de um programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Sendo diretamente conectada à rede elétrica da concessionária e com um potência instalada de 1 MW, conforme

Figura 22 (BEIGELMAN, 2013).

Figura 22 - Usina Solar Fotovoltaica de Tauá 1 MW, pioneira no mercado brasileiro.



Fonte: Beigelman (2013).

De tal modo, o aumento contínuo da geração de energia por tecnologia fotovoltaica depende do incentivo de políticas públicas que invistam em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e capacitação de mão-de-obra, resultando em desenvolvimento sócio econômico em toda cadeia produtiva. Visto que a construção

das usinas fotovoltaicas apresentam vantagem pelo curto prazo de implantação, além de retorno relativamente rápido no abastecimento energético (MAGNUS; BECKER; TAVARES, 2016).

Dentre as tecnologias de módulo fotovoltaicos disponíveis, de acordo com Magnus; Becker; Tavares (2016), o silício cristalino foi a opção de 100% dos projetos apresentados no primeiro leilão de 2014, sendo que a tecnologia de filme apareceu somente no leilão de 2015 com uma representatividade de 7%.

Desta forma, avaliar formas de identificar áreas potenciais para recebimento de usinas solares fotovoltaicas no ambiente urbano se caracteriza como uma forma de incentivo. Assim, ao simular o território do campus universitário da UFSM, que se configura como uma mini cidade, é possível promover o desenvolvimento de outros P&D e fomentar o investimentos público, que percebam potencialidades na identificação de espaços livres para geração de energia em grande escala utilizando ferramenta SIG.

2.5.3 Sombreamento e impacto do entorno na geração fotovoltaica

Os projetos que são integrados à tecnologia fotovoltaica devem levar em consideração diversos critérios, que se relacionam para cumprir com êxito a proposta do sistema. Entre os parâmetros relevantes, alguns exemplos são: a radiação solar local, a latitude, o uso da edificação, o entorno de implantação e a tecnologia fotovoltaica instalada. Esses fatores resultam na geração fotovoltaica, a função e arquitetura, o comportamento térmico, a transmitância luminosa e o custo, que podem resultar no sucesso ou fracasso do sistema implantado (CHIVELET; SOLLA, 2010).

A radiação solar que atinge os ambientes terrestres se relaciona ao tempo e ao espaço, pois são as variáveis que referenciam o Sol à Terra, sendo que os níveis de radiação são consequência de estar em determinado lugar em um período de tempo. O movimento do sol ocorre por dia e de acordo com as estações do ano, sendo consequência o fornecimento de luz e calor em maior ou menor intensidade. Em relação à luz do sol nas cidades, é possível realizar um planejamento urbano que possibilite acesso ou barre o sol, dependendo da malha urbana e o entorno construído (PÉREZ, 2007).

A importância do acesso solar nos centros urbanos é registrados desde a Roma Antiga, tanto que no século VI, o Imperador Justiniano criou a primeira legislação

ambiental de direito ao sol (Figura 23). Denominada como “Direito ao Sol do *heliocaminus*”, a lei dizia que se um objeto fosse inserido em um local que obstruísse o sol e cria-se sombra onde a luz do Sol fosse necessário, seria considerada uma violação do direito ao sol do *heliocaminus* (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 23 - Lei de Direito ao Sol do *heliocaminus* da Roma Antiga.



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2014).

A disponibilidade de luz solar incidindo diretamente em uma determinada superfície é o que define a radiação solar direta que se caracteriza como um espectro visível entre 400 nm e 700 nm de banda. A capacitação energética solar pode ser utilizada para fins térmicos e luminoso, acarretando no aquecimento e iluminação dos espaços habitáveis. Os sistemas tecnológicos de captação solar funcionam com bandas espectrais de longitude de onda mais amplo que a visível, por isso surtem efeito nas funções de geração de eletricidade mesmo quando não se tem acesso solar, mas interfere no desempenho quando obstruída por elementos que causem sombreamento, como edifícios, vegetação e instalações vizinhas (JIRÓN; ARAYA, 2012).

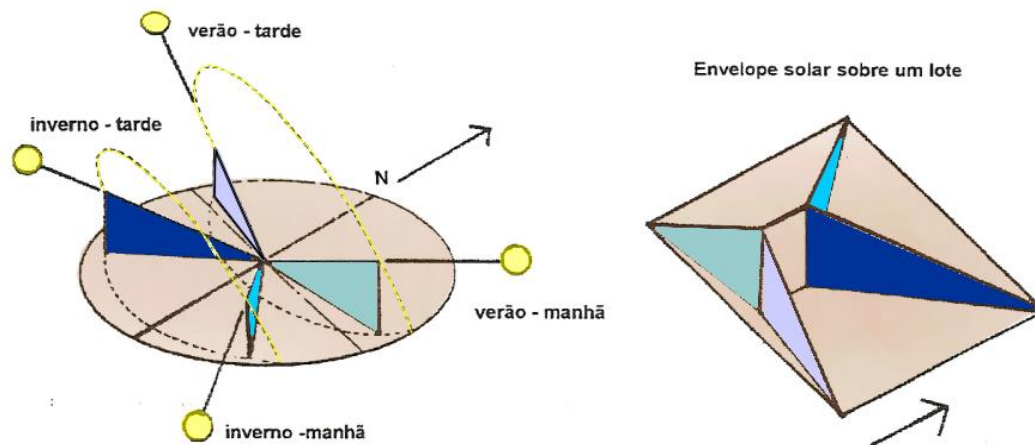
Outro fator que relaciona a luz do sol com o planejamento urbano é a altura solar, que é o ângulo gerado entre o sol e o plano do horizonte. Segundo Sonza & Ely (2010), a altura solar é o que estabelece a trajetória do sol em torno da Terra, sendo que a inclinação do eixo de rotação que determina as estações do ano. Assim, a altura solar determina a incidência dos raios solares e sua área de concentração.

A maneira como ocorre o impacto do acesso solar por meio das barreiras de sombra se denomina como envelope solar, e varia de acordo com o caráter da rua e

os horários de corte que influenciam no meio edificado. Por exemplo, no inverno, em consequência dos ângulos estarem mais baixos, há um horário de corte de sol maior delimitado das 10 horas às 14 horas, o que impacta no volume. Já no verão, que os ângulos solares estão mais elevados, o corte solar pendura das 8 horas as 16 horas, um período bem mais longo e que impacta menos no volume construído (PÉREZ, 2007).

A demonstração de um envelope solar, se caracteriza por um volume básico similar a uma pirâmide, pois a edificação é delimitada pelos ângulos de incidência solar. Assim, é possível proporcionar maiores períodos de acesso solar desejável, além de fornecer sombreamento em períodos de radiação solar excedente. Na Figura 24 pode-se visualizar como um envelope solar aplicado a uma edificação pode influenciar na morfologia urbana em consequência do volume resultante.

Figura 24 - Construção do envelope solar e ângulos de altura solar.



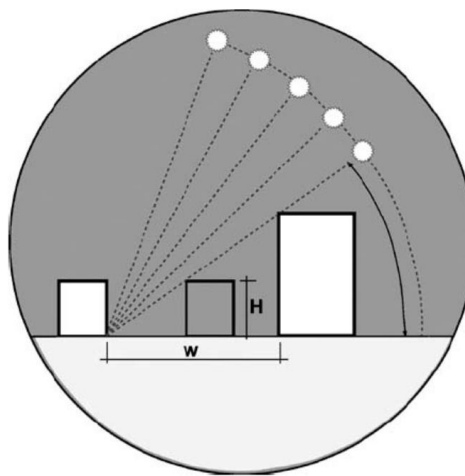
Fonte: Assis (2000 apud Pérez 2006).

O cenário urbano é delimitado por dois planos, horizontal e vertical, sendo que a ocupação urbana é demarcada pelas edificações que são constituídas pelos eixos da parede (vertical) e de piso (horizontal). Com isso, a relação entre altura e largura do cenário urbano resulta em FVC (Fator Visível do Céu) ou também denominado como Cânions Urbanos. Esse FVC está diretamente ligado aos índices do plano diretor, como: IA (Índice de Aproveitamento), TO (Taxa de ocupação), largura de vias e afastamentos. Assim, os valores delimitados para os índices determinam o adensamento dos centros urbanos, que para que se possa ter um ambiente com

potencial energético solar, no plano diretor esses índices devem estar condizentes com o controle ambiental adequado (SONZA; ELY, 2010).

Os cânions urbanos são dados por um ângulo que proporciona a entrada da fonte de luz na ausência dos obstáculos do entorno (Figura 25), resultando em pontos onde se pode quantificar os impactos de sombreamento das construções no ambiente urbano (SALINAS, 2010).

Figura 25 - Cânion urbano e o acesso da radiação solar.



Fonte: Marins (2010).

Todos estes elementos também são componentes que alteram a geração fotovoltaica. De acordo com Marins (2010, p. 96):

“O cânion urbano corresponde a seção existente (geralmente viária), limitada por edificações. Sua configuração, no que tange à relação entre a altura das edificações e a largura viária afeta na temperatura superficial, o fluxo de ar, a radiação e a iluminação solar de forma diferenciada, conforme as diversas existentes ao longo do gabarito das edificações.”

Então, uma maneira de realizar as análises de relação entre área edificada e o impacto de sombreamento do entorno é pelo FVC, que define a porcentagem de área de céu que é visível conforme alguma referência. Com isso, de acordo com a morfologia urbana, a zona correlaciona ocupação e insolação, então pode-se analisar a quantidade de radiação solar incidente no meio. Com esses dados é possível definir

diretrizes que garantam condições mínimas de acesso solar no centros urbanos (SONZA; ELY, 2010).

No entanto, é perceptível a associação direta entre o urbanismo, a arquitetura e o acesso solar. Para Jirón & Araya (2012), na arquitetura o acesso da radiação solar se associa intuitivamente as sombras resultantes do entorno, sendo que o espaço urbano se caracteriza como um geometria, que conforme as condições legais pode ou não permitir o acesso livre de radiação solar nas propriedades.

Em vista disso, esta pesquisa emprega ferramenta SIG de análise solar para identificar espaços livres de sombreamento e que recebem altos níveis de irradiação solar em um campus universitário. Para assim, averiguar os locais com potencial para inserção de sistema solar fotovoltaico para geração de energia de forma distribuída.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria foi desenvolvida preponderantemente por meio de sistema de informação geográfica (SIG), para investigar os níveis de irradiação solar disponíveis. Foram gerados mapas da área de estudo (Wh/m^2), verificando áreas potenciais livres de sombreamento para geração de energia através de sistema fotovoltaico.

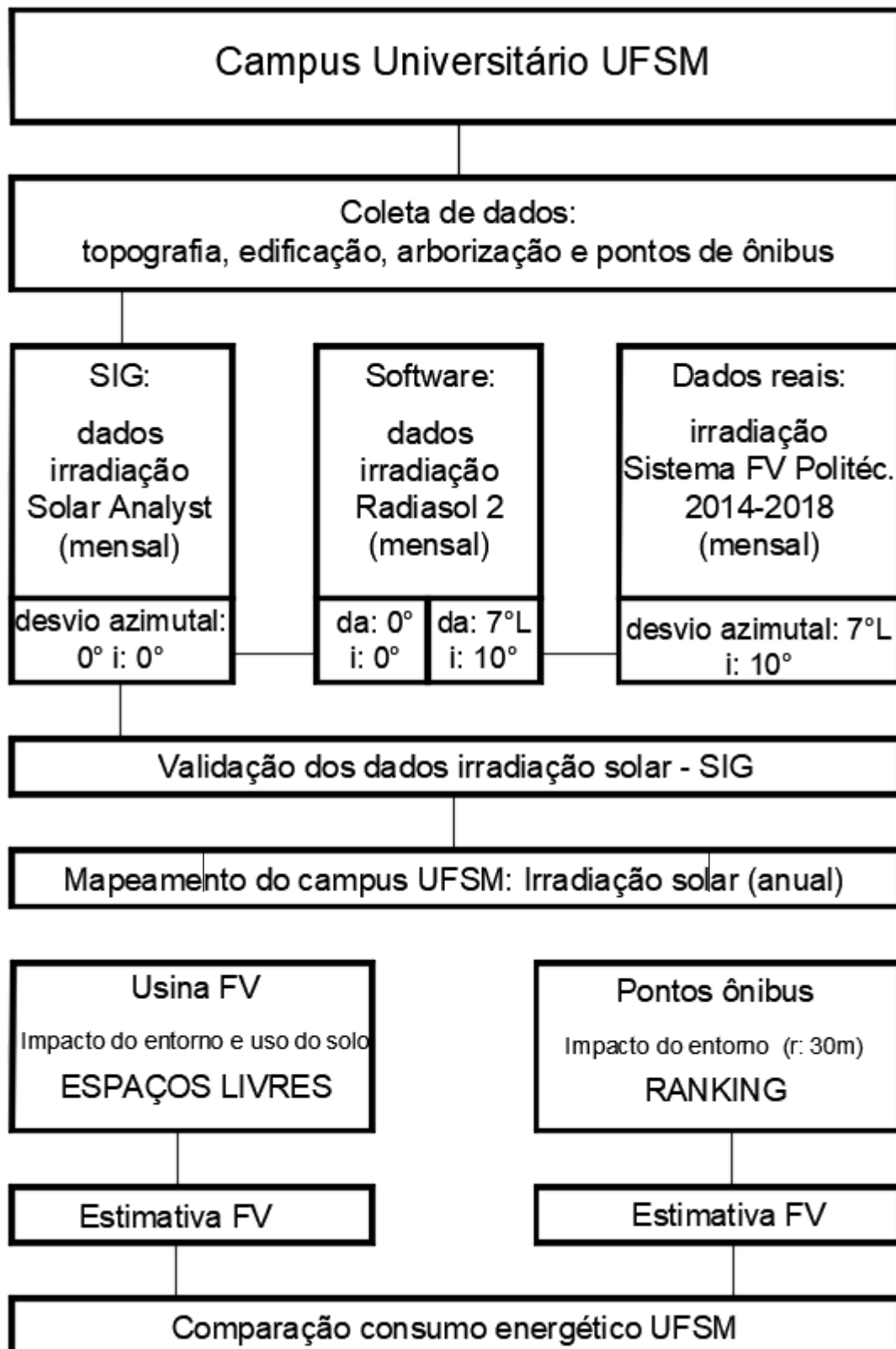
Posteriormente, a validação destes dados gerados por SIG (ferramenta Solar Analyst) foi comparado com dados de outro software (RadiSol2) e dados medidos *in loco* no campus (sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico).

Ao autenticar os dados do Solar Analyst, desenvolveu-se uma análise em menor escala, fazendo uso do mesmo método porém direcionado para as pontos de ônibus existente nos limites internos do campus. Com o propósito de qualificar pela localização e o impacto do entorno, quais são passíveis de receber tecnologia fotovoltaica para geração de energia elétrica de forma distribuída.

Para finalizar, detectou-se as espaços livres disponíveis para aplicação de sistema solar fotovoltaico, replicando a Usina Fotovoltaica instalada recentemente e prevendo uma de maior potência.

A organização do trabalho está representada na Figura 26 por meio de um fluxograma, apresentando cada fase desenvolvida.

Figura 26 - Fluxograma metodologia.

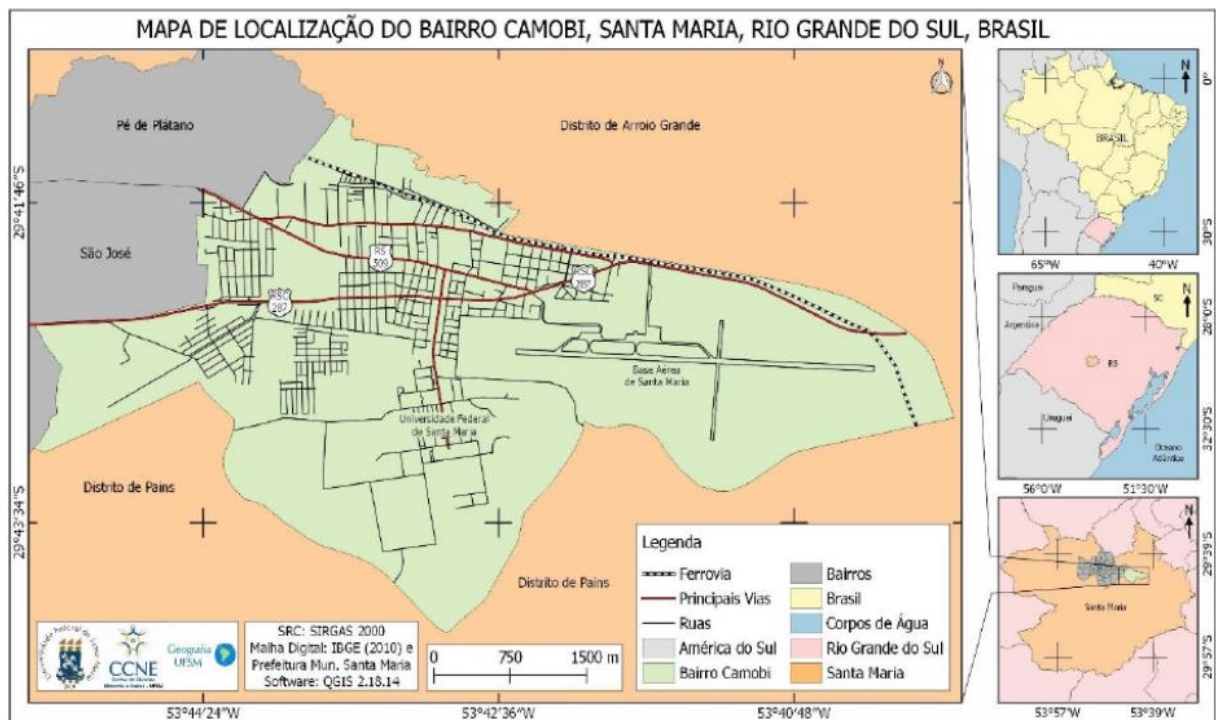


Fonte: Autora (2019).

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DO CAMPUS DA UFSM

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) localiza-se no bairro Camobi da cidade de Santa Maria com as coordenadas geográficas de 29° 43' 06" latitude Sul e 53° 42' 45" de longitude Oeste, no centro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 27).

Figura 27 - Localização geográfica do Campus da UFSM.



Fonte: Spode; Rocha; Faria (2018) apud Rizzatti (2017).

A sede está na zona leste da cidade de Santa Maria, denominada Cidade Universitária “Professor José Mariano da Rocha” com uma área de 521,85 hectares. A Figura 28 demonstra a configuração do campus, que concentra 230 cursos e 25.568 alunos divididos em cursos de graduação, Pós-graduação, Ensino Médio e Pós-Médio. Atualmente a estrutura do campus está organizada em dez unidades universitárias, sendo elas: Centro de ciências naturais e exatas (CCNE), Centro de Ciências Rurais (CCR), Centro de Ciências da Saúde (CCS), Centro de Educação (CE), Centro de Ciências Sociais e Humanas (CCSH), Centro de Tecnologia (CT), Centro de Artes e Letras (CAL) e Centro de Educação Física e Desportos (CEFD); A

Universidade possui duas Escolas de Ensino Médio e Tecnológico localizados no campus de Camobi, o Colégio Politécnico de Santa Maria e o Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, totalizando em torno de 348.394,32m² de área construída (ZAMPIERI, 2011; PROINFRA/UFSM, 2018).

Figura 28 – Levantamento aerofotogramétrico campus UFSM.



Fonte: IPLAN/SM (2013).

Para o mapeamento do levantamento de dados topográficos, ambiente construído, vegetação arbórea e mobiliário urbano do campus da universidade foi empregado o *software ArcGIS*. Este programa possui uma extensão denominada *ArcMap*, que permite o mapeamento, análise e gerenciamento dos dados.

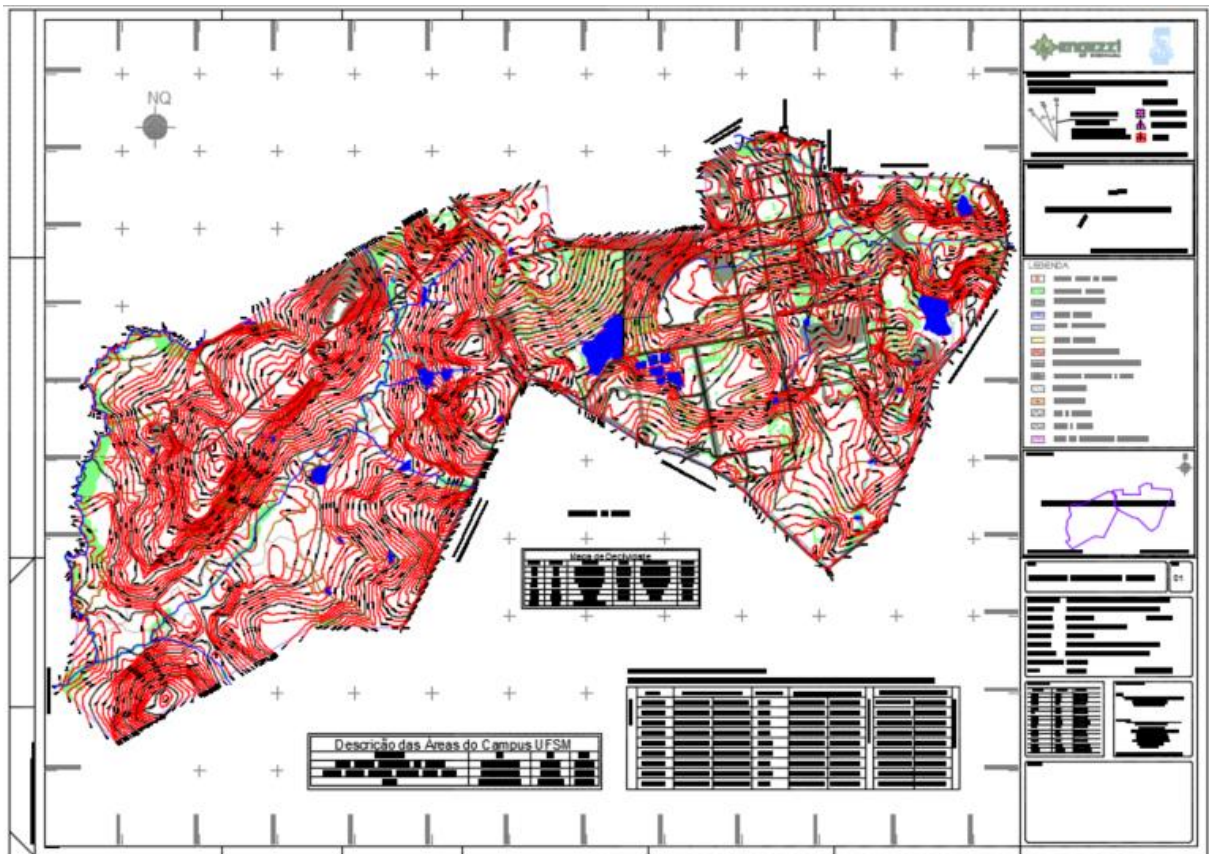
O *ArcMap* representa as informações geográficas em um conjunto de camadas resultando em um modelo visual e analítico, possibilitando a automatização dos conjuntos de dados *geodatabase* ao executar funções, como: ativar, desativar e sobrepor camadas, consultar dados de atributos, navegar pelos mapas, entre outros.

Estas camadas são parametrizadas em um conjunto de dados que é armazenado de maneira georreferenciada em formato de vetor (*shapefile*) ou rasters (imagem). Assim, inicialmente, utilizou-se a imagem raster disponibilizada pelo

IPLAN/SM para referenciar as informações de latitude e longitude no programa, aplicando o sistemas de coordenadas convencionado nacionalmente, denominado SIRGAS 2000 com a projeção UTM zona 22S. Desta forma, os mapeamentos realizados posteriormente utilizaram como base esta imagem com exata geolocalização espacial.

Para o mapeamento das informações topográficas foi disponibilizado pela PROINFRA/UFMS um levantamento das curvas de nível do terreno em formato *dwg* (AutoCAD) realizado no ano de 2015 pela empresa Engezzi Engenharia (Figura 29), que foi desenvolvido para realização do licenciamento ambiental da propriedade da Universidade Federal de Santa Maria, tendo como responsável técnico o engenheiro florestal Israel Carlos Trezzi (CREA/RS 126976-D). Este levantamento planialtimétrico cadastral utiliza como base a carta do exército e GPS (South Modelo S86T e S82T), tendo como referência a estação geodésica 91947/RN:1792H gerando curvas de nível a cada um metro, com valores variáveis de 80 a 125 metros de altitude.

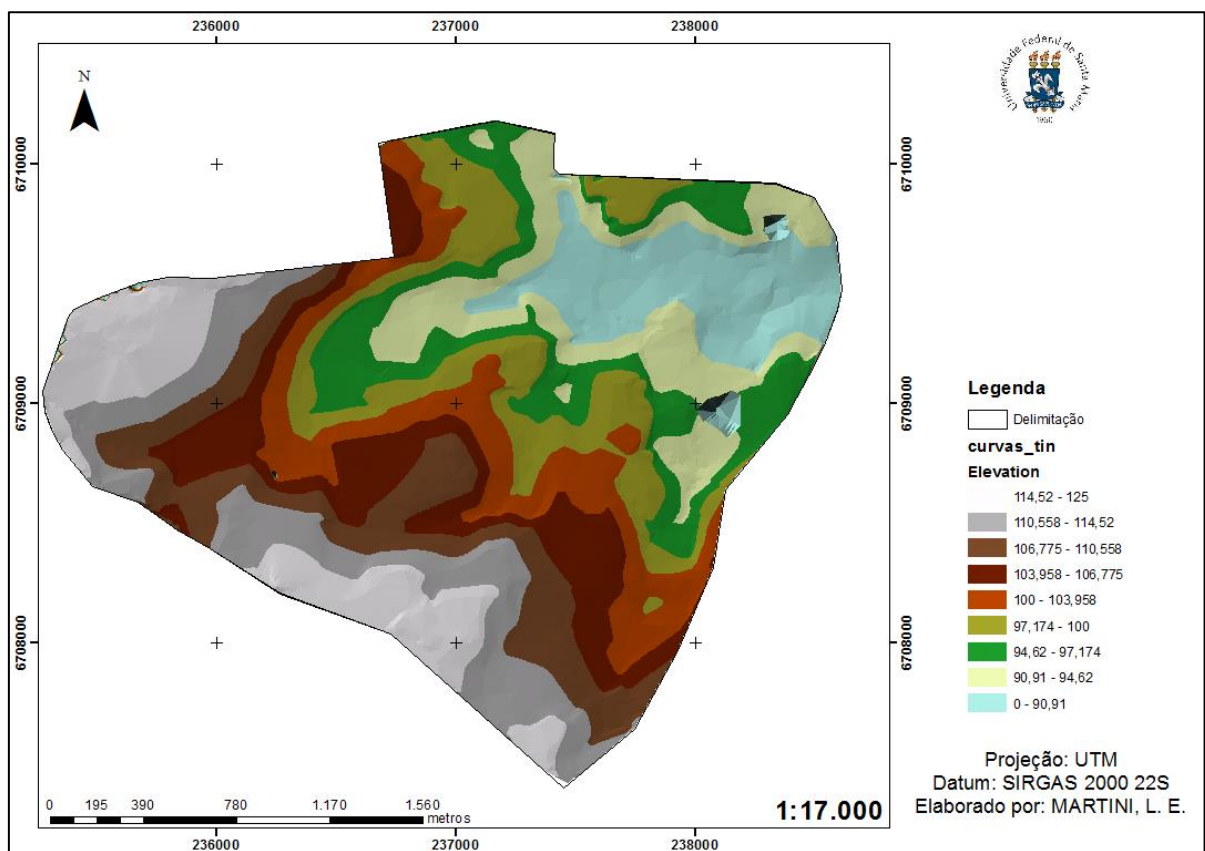
Figura 29 - Levantamento planialtimétrico cadastral da UFMS.



Fonte: PROINFRA/UFMS por Engezzi Engenharia (2015).

Com o propósito de criar um Modelo Digital do Terreno (MDT), este arquivo do AutoCAD é exportado para o ArcMap, que com o uso da ferramenta TIN (*triangulated irregular network*) faz a interpolação dos valores de altitude, representado pelas curvas de nível, criando triângulos entre as linhas que resulta em modelo matemático digital topográfico (Figura 30). Em seguida, com as ferramentas de conversão, utiliza os dados de entrada do TIN em uma imagem raster por interpolação, sendo que para cada pixel da saída é atribuído um valor de altura.

Figura 30 - Modelo TIN do campus da UFSM.

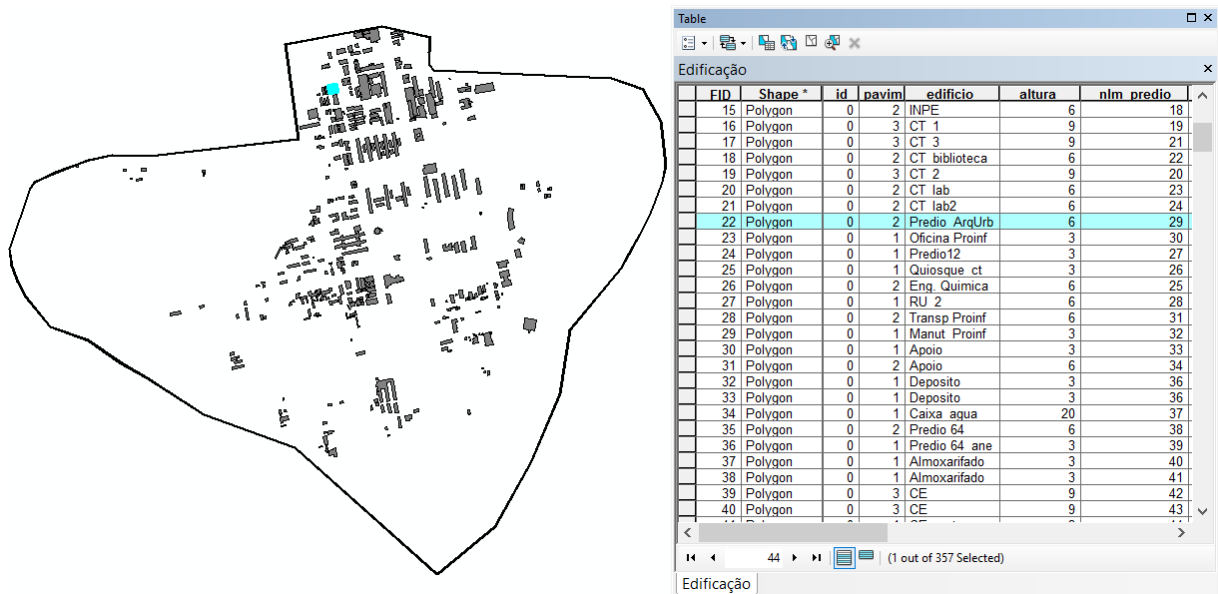


Fonte: Autora (2019).

Para o levantamento de dados relativo as edificações existentes na extensão territorial do campus, foi disponibilizado pela PROINFRA/UFSM a planta de localização em formato dwg (AutoCAD) desenvolvida pelo arquitetos Oscar Valdetaro, Roberto Nadalutti e atualizada com os novos edifícios pelo desenhista José Vicente Correa. Como o documento era datado o ano de 2004, todas as informações disponibilizadas foram conferidas *in loco* para garantir a atualização dos dados.

Desta forma, os dados das áreas edificadas foram desenhados no ArcMap com o auxílio da ferramenta *shapefile*, que é um formato que armazena a localização geométrica e informações de atributos dos recursos geográficos. Assim, todas as edificações foram desenhadas com polígonos vetorizados, totalizando 358 unidades, com as especificações retratadas na tabela de atributos (Figura 31). Nesta tabela relatou-se o nome/tipo de edifício, o número de pavimentos e sua altura em metros; tendo sido convencionado que a cada um pavimento equivaleria a 3,00 metros de altura. A partir destas informações de altura das edificações, representadas pelos polígonos (área), utilizou-se a ferramenta de conversão, possibilitando gerar uma imagem raster por meio dos dados de altura das edificações. Assim, cada pixel da imagem representa as informações de altura das edificações delimitadas no campus da UFSM.

Figura 31 – Representação do levantamento das edificações do campus e seus dados de altura representados na tabela de atributos.



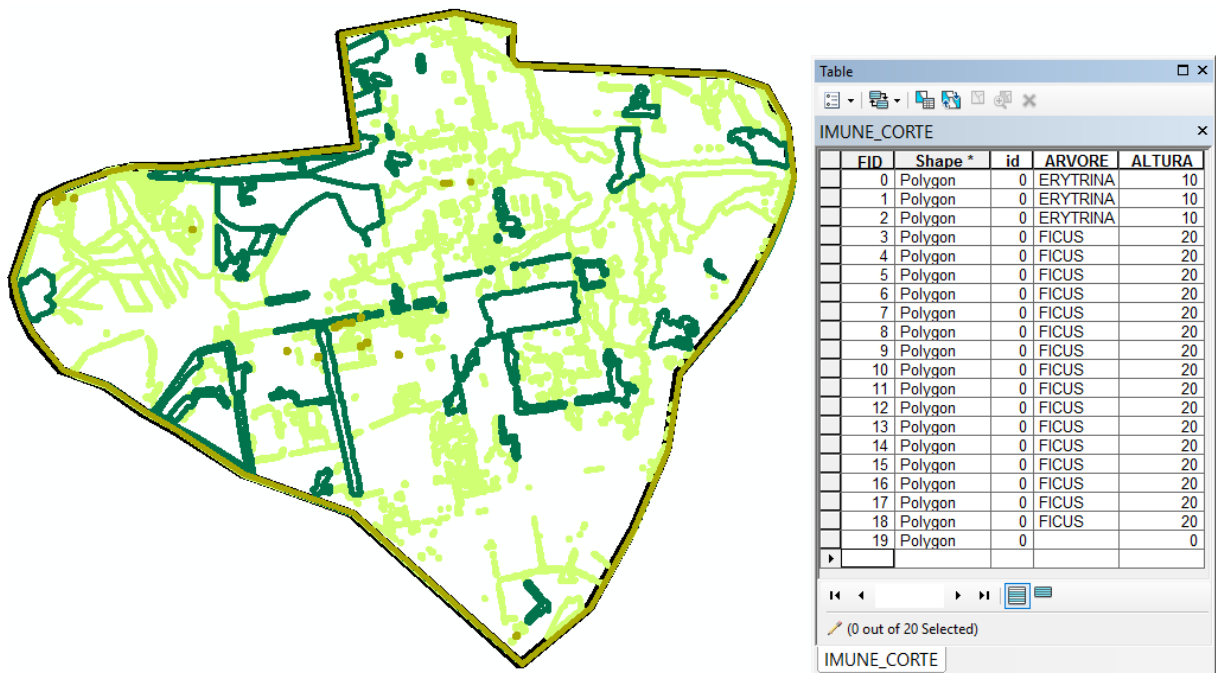
Fonte: Autora (2019).

Em relação ao levantamento de dados da vegetação arbórea presente no campus, foi disponibilizado pela PROINFRA/UFSM um arquivo em formato *dwg* (AutoCAD) realizado no ano de 2015 pela empresa Engezzi Engenharia apresentando um mapeamento que divide as arbóreas em 3 categorias: nativa, exótica e imune ao

corde. Seguindo o mesmo método, estas informações foram transcritas para o software *ArcMap* em três *shapefiles*, sendo eles: nativa, exótica e imune ao corde (Figura 32).

Para fins de comparação, visto que vegetação está em constante crescimento e mudança, os *shapefiles* foram sobrepostos ao levantamento aerofotogramétrico da área urbana do município de Santa Maria, que fazem parte da base cartográfica do setor de geoprocessamento do IPLAN/SM. Esta base cartográfica foi desenvolvida no ano de 2013 pela empresa Topocart de Brasília/DF e resultou em imagens na escala 1:1000 com resolução de 10 cm, assim possibilitou fazer o cruzamento dos maciços vegetativos com exatidão.

Figura 32 – Representação do levantamento da vegetação arbórea nativa, exótica e imune ao corde no campus da UFSM.

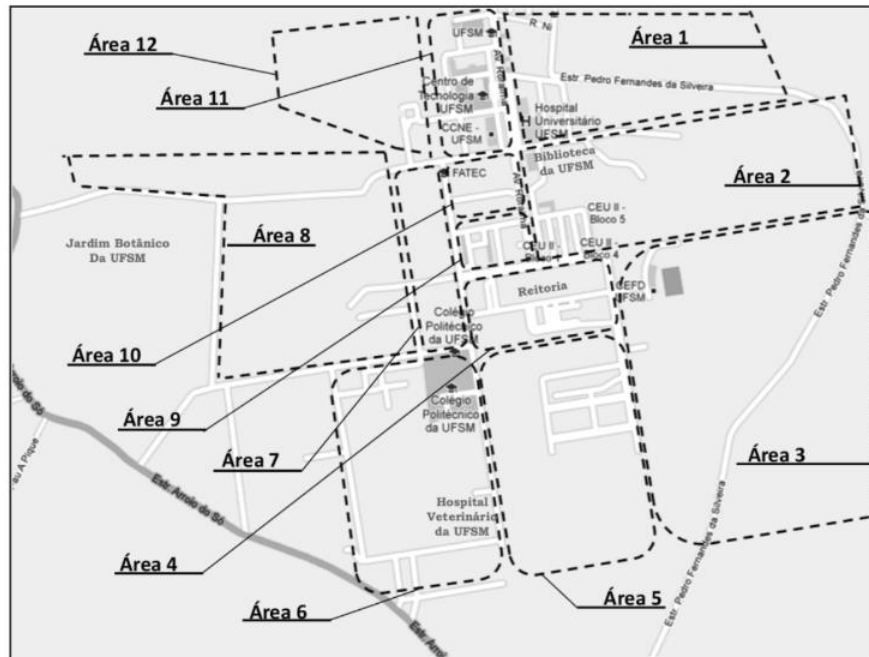


Fonte: Autora (2019).

Para definição e padronização das alturas, visto que se trata de uma área de trabalho muito extensa, baseou-se no estudo de Cabreira e Canto-dorow (2016) que realizou um levantamento florístico na área urbana do campus da UFSM listando as espécies vegetais presentes. As autoras dividiram a zona de estudo em 12 áreas (Figura 33), registrando, fotografando e coletando informações para posterior identificação no Laboratório de Taxonomia Vegetal da UFSM. O levantamento

apresentou 50 famílias, 110 gêneros e 131 espécies que foram listadas e ordenadas em tabela com família, espécie, nome popular, porte (arbóreo ou arbustivo) e *status* (nativo ou exótico no Rio Grande do Sul).

Figura 33 - Área de estudo onde realizou-se o levantamento florístico no campus da UFSM.



Fonte: Cabreira e Canto-dorow (2016).

Assim, com as informações mais detalhadas deste estudo do Departamento de Biologia em conjunto com as especificações apresentadas na base de dados da PROINFRA/UFSM (Figura 34) foi elaborada uma listagem genéricas das principais vegetações arbóreas existentes no campus para padronizar um valor médio da altura das vegetações em três grupos: nativa, exótica e imune ao corte (Tabela 1).

Figura 34 - Parte do levantamento arbóreo no campus da UFSM disponibilizado pela PROINFRA/UFSM.



Fonte: PROINFRA/UFSM por Engezzi Engenharia (2015).

Tabela 1 – Altura média estipulada para vegetação arbórea no campus UFSM de acordo com bibliografia de referência.

Nativa (Família e altura)		Exótica (Família e altura)		Imune ao corte (Família e altura)	
Angico - vermelho (<i>Fabaceae</i>)	20,00 – 30,00 m	Cipreste (<i>Cupressaceae</i>)	25,00 m	Corticeira- do- banhado (<i>Fabaceae</i>)	6,00 – 10,00 m
Canafístula (<i>Fabaceae</i>)	15,00 – 25,00 m	Eucalipto (<i>Myrtaceae</i>)	20,00 - 40,00 m		
Guapuruvu (<i>Fabaceae</i>)	20,00 - 30,00 m	Ligustro (<i>Oleaceae</i>)	7,00 -10,00 m		
Ipê Amarelo (<i>Bignoniaceae</i>)	30,00 - 40,00 m	Plátano (<i>Platanaceae</i>)	40,00 m		
Jerivá (<i>Arcaceae</i>)	10,00 – 20,00 m	Pinus (<i>Pinaceae</i>)	15,00 - 30,00 m	Figueira (<i>Moraceae</i>)	20,00 m
Pessegueiro-do- mato (<i>Rosaceae</i>)	8,00 – 15,00 m	Uva-do-Japão (<i>Rhamnaceae</i>)	10-00 - 15,00 m		
Timbaúva (<i>Fabaceae</i>)	20,00 - 35,00 m				
Média adotada: 25,00 m		Média adotada: 20,00 m		-	

Fonte: Lorenzi (2016a); Lorenzi (2016b); Lorenzi (2016c); Lorenzi; et al. (2003).

Então, para definição das alturas da vegetação arbórea com status de nativa, desenvolveu-se uma análise das famílias apresentadas pelas autoras Cabreira e Canto-dorow (2016) e as informações disponibilizadas pela PROINFRA/UFSM, assim foi realizada uma consulta nos três volumes do livro “Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de planta arbóreas nativas do Brasil” (LORENZI, 2016a; 2016b; 2016c) para definição de valor médio de altura adotado para os maciços vegetativos. Para as principais famílias *Fabaceae*, *Bignoniaceae*, *Arcaceae* e *Rosaceae* padronizou-se a altura de 25,00 metros.

Com o conhecimento das principais famílias com status exótica, foi consultado o livro “Árvores Exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas” (LORENZI; ET AL., 2003) para definição de um valor médio de altura adotado para os maciços vegetativos disponíveis. Com as principais famílias sendo *Cupressaceae*, *Myrtaceae*, *Oleaceae*, *Platanaceae*, *Pinaceae* e *Rhamnaceae* padronizou-se um valor padrão de 20,00 metros de altura por meio da tabela de atributos referente ao shapefile exóticas.

Para o terceiro grupo, o Estado do Rio Grande do Sul declarou que as Figueiras nativas do gênero *Ficus* e as Corticeiras do gênero *Eritryna* são árvores imunes ao corte, conforme disposto na Lei Estadual n.º 9.519, de 21 de janeiro de 1992 que Instituiu o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul. Então, como na área do campus foi encontrada 17 exemplares, sendo 3 Corticeiras-do-banhado e 14 Figueiras, foi realizado o mapeamento da localização exata destas tipologias pelas coordenadas geográficas disponibilizadas, atrelando a elas os valores referenciais de altura em 10,00 e 20,00 metros, respectivamente.

Embora o levantamento arbóreo não seja o objetivo principal desta pesquisa, a decisão em relacionar os maciços vegetativos com alturas médias padrões foi incorporar maior realismo ao impacto do sombreamento na área do campus, o que também ocorre nas cidades. Para finalizar, foi gerado a imagem *raster* destas informações, sendo que cada pixel (0,5 x 0,5) representa as alturas estipuladas das vegetações arbóreas apresentadas.

Para unificar todas as informações levantadas sobre topografia, edificações, arborização da UFSM em uma única imagem *raster* aplica-se a extensão Álgebra de Mapas do ArcMap. A álgebra de mapas opera funções para executar análises espaciais, dentro destas funções está a soma, que possibilita sobrepor as informações de altura mapeados até o momento, resultando em um mapa final no formato *raster* (0,50 x0,50 pixel).

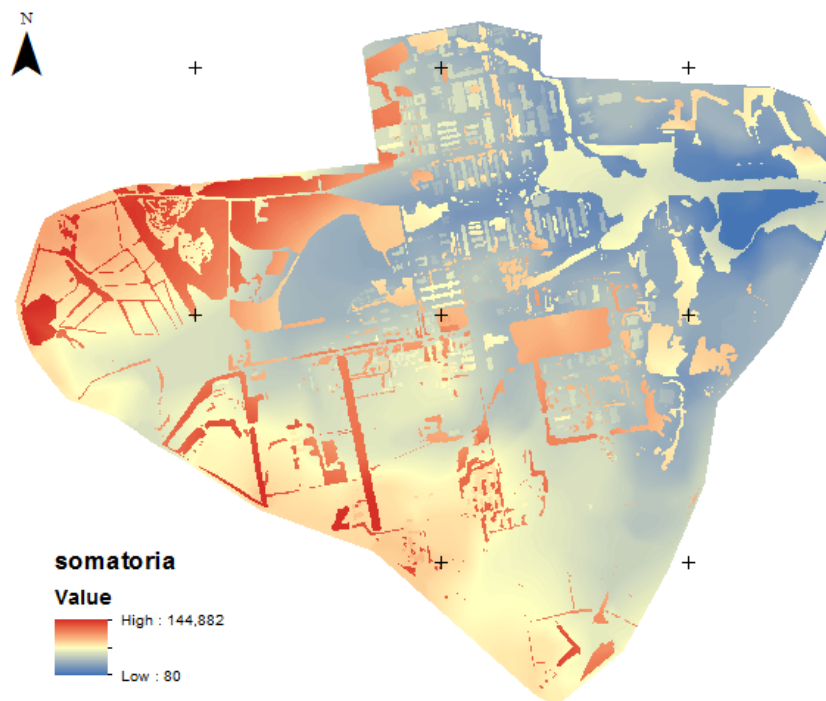
3.2 MAPEAMENTO DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO CAMPUS

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo foi baseada em Ribeiro & Leder (2012), no qual testaram um processo para estimar a irradiação nas áreas urbanas utilizando ferramenta SIG.

A simulação da incidência solar pode ser realizada por meio da ferramenta do *Solar Analyst*, denominada *Area Solar Radiation* presente no *ArcMap*. Esta ferramenta permite fazer um mapeamento e analisar os efeitos da insolação em determinada localidade geográfica por períodos específicos, calculando os níveis de irradiação solar em áreas de paisagem urbanas.

Os dados de entrada para a simulação é uma imagem raster (input), composta pelas informações topográficas e alturas de edificações, vegetação arbórea e pontos de ônibus. Para isso, determinou-se a utilização do mapa final obtido pelo levantamento de dados desta metodologia, sendo que as células quadrulares possuem resolução de 0,50 x 0,50 (Figura 35). Cada pixel, desta imagem raster, representa um valor referente às características do campus da UFSM.

Figura 35 - Raster com informações dos levantamento de dados do campus da UFSM (altitude em metros).

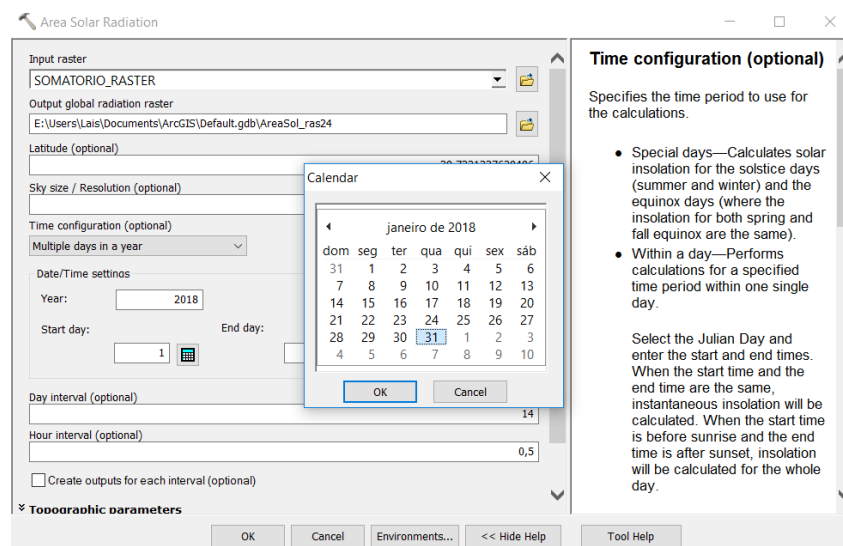


Fonte: Autora (2019).

Como a imagem já está georreferenciada, para a Universidade Federal de Santa Maria, as informações sobre latitude e longitude são identificadas de forma automática pelo sistema, que considera os efeitos locais de altitude, posição e ângulo do sol e efeitos de sombreamento do entorno.

A determinação do período que será realizada a simulação se faz pelo *Time Configuration* (Figura 36), possibilitando a escolha de dias especiais, períodos no ano, intervalo de dias ou até mesmo o ano inteiro. Para esta pesquisa a configuração do tempo se deu de 13 maneiras, sendo um mapa para cada mês do ano e um mapa anual. Os mapas mensais de janeiro a dezembro são definidos do primeiro ao último dia de cada mês, variando entre 28, 30 e 31 dias.

Figura 36 - Interface da ferramenta *Area Solar Radition* do ArcMap.



Fonte: Autora (2019).

Os mapas de saída (*output*) são em formato raster e calculam os níveis de irradiação disponíveis em toda a área de estudo, sendo que o resultado leva em consideração variáveis como latitude, a distância do sol e época do ano além da altura dos itens que sombreiam a superfície. Cada pixel representa os valores na unidade de medida de watt hora por metro quadrado (Wh/m^2), representando os componentes irradiação solar global, sendo um somatório de energia acumulada neste número de dias de cada mês.

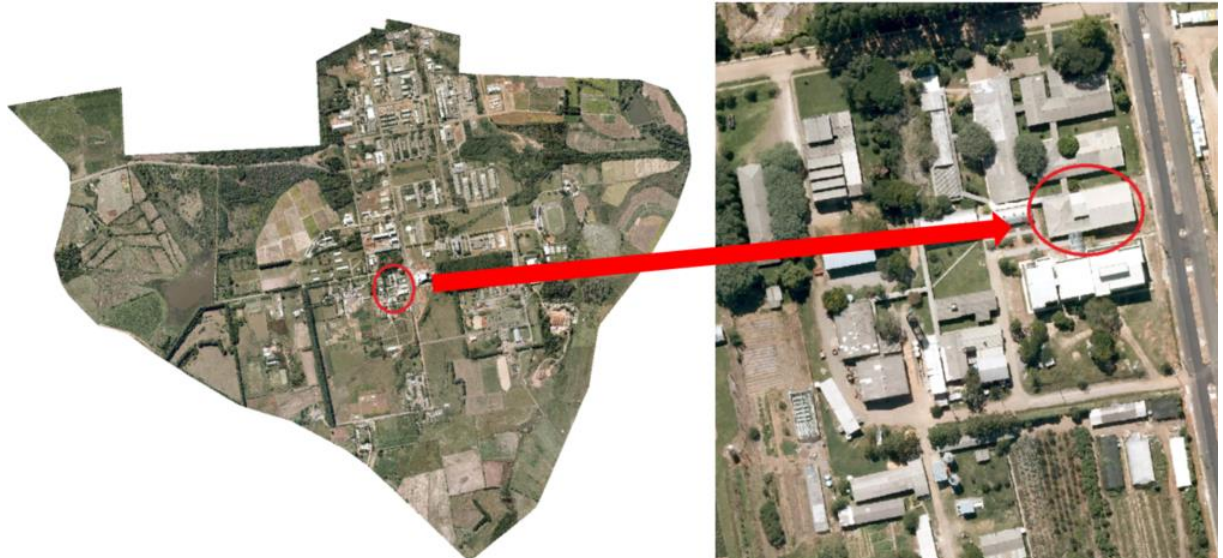
3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE IRRADIAÇÃO

Para validar os dados de irradiação mensal gerados pelos cálculos algoritmos da ferramenta *Area Solar Radiation* do *ArcMap* e garantir sua confiabilidade para aplicação em estudos, realizou-se uma análise comparativa com dados provenientes de outras fontes de estudos.

Primeiramente, foi extraído os valores de irradiação solar mensal da cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, obtidos pelo software *Radiasol2* com uma inclinação de 0° . Isto porque, os dados obtido da radiação solar global do *ArcMap* estão em plano horizontal, então há uma correspondência adequada entre os dados para poder ser realizado o comparativo.

Em um segundo momento, para uma nova comparação, foram coletado os dados de irradiação solar obtidos pelo sistema fotovoltaico instalado nas dependências da Universidade Federal de Santa Maria, na cobertura do Bloco E do Colégio Politécnico (Figura 37), sendo assim, um banco de dados reais obtidos pelo instrumento de medição piranômetro.

Figura 37 - Localização do sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico nas dependências da UFSM.



Fonte: IPLAN/SM (2013) adaptada pela autora.

O sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico da UFSM (Figura 38) foi instalado para fins de pesquisa, sendo que os módulos estão em funcionamento desde agosto

de 2014. O modelo possui 14 módulos de silício policristalino (p-Si), com potência de 3,5 kWp em uma área de 23m², e estão conectados à rede mediante um inversor monofásico (220v) de 3,1kW. De acordo com Siluk (2017), módulos estão afastados a 15 cm do telhado com uma inclinação de 10°, seguindo a mesma do telhado, com um desvio azimutal de 7° leste.

Figura 38 – Sistema FV do Colégio Politécnico da UFSM.



Fonte: PROINFRA/UFSM (2018).

No estudo de Siluk (2017), os dados do SFVCR foram apurados nos anos de 2015 e 2016, aplicando metodologia específica. Neste estudo foram inseridos também os anos de 2017 e 2018, reaplicando a mesma metodologia.

Assim, as informações sobre irradiação solar foram coletadas a cada 5 minutos pelo piranômetro, que informa os dados para o inversor e transmite as informações para o usuário em W/m². Sendo que estes dados podem ser acessados por meio do software Fronius Solar Access, que armazena os dados no sistema.

Para realizar a análise do período de 48 meses (ano de 2015 a 2018), foram calculadas as médias diárias e mensais. O software toma dados de potência instantânea a cada 5 segundos, assim para possuir o total de energia gerada foi calculada a integral dos valores, transformando em valores de geração horária.

Para que se obtenha a irradiação diária (Eq. 1):

$$E_{diária} = \left[\frac{\sum diária.5}{60} \right] \quad (1)$$

E diária = Somatório da energia diária (W/h)

Σ = Somatório dos dados do dia (W)

Posteriormente, realizou-se o somatório mensal (W), que foi convertido em kW (Σ mensal/1000). As tabulações de dados foram realizados pelo software Microsoft Excel, que possibilita inserir as fórmulas para gerar os resultados da média da irradiação total mensal durante o período estipulado.

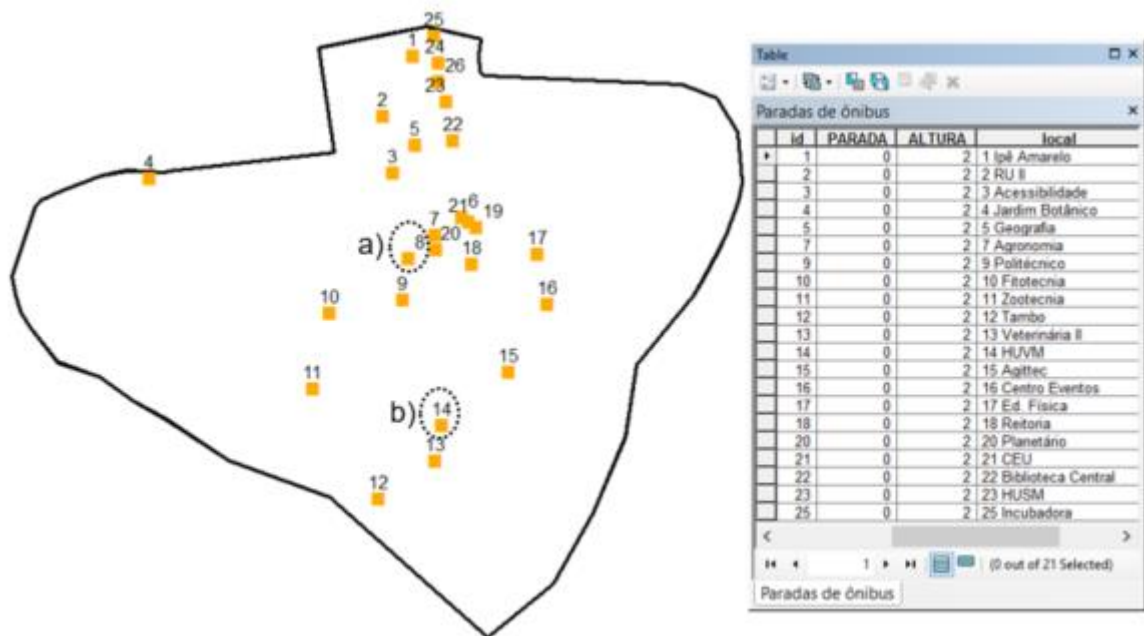
Para fazer uma análise comparativa extraiu-se novos dados do Radiasol2, agora com uma inclinação de 10° e desvio azimutal de 7° leste, pois assim teria igual posicionamento da célula de referência do sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico.

3.4 SIMULAÇÃO DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PONTOS DE ÔNIBUS

Para o levantamento dos pontos de ônibus existentes no campus da UFSM, foi levado em consideração o transporte intramunicipal e o transporte intracampus. No intramunicipal existem paradas que se relacionam com o transporte público municipal, em que os itinerários são de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Santa Maria. Já o intracampus é o transporte por ônibus que funciona no dentro dos limites do campus, sendo responsabilidade da PROINFRA/UFSM. As informações a respeito das paradas de ônibus, intramunicipais e intracampus, foram disponibilizadas pela Secretaria de Mobilidade Urbana de Santa Maria e pela Proinfra/UFSM respectivamente, totalizando 26 pontos de ônibus (Figura 39).

Observa-se que em setembro de 2019 o transporte intracampus foi cancelado por falta de recursos para manutenção do veículo, combustível e motoristas. Segundo a Proinfra/UFSM, foi acordado na concessão do Posto BR, que o serviço será retomado em 2020 sob a responsabilidade da Petrobrás, já que é reconhecida a importância deste transporte para a comunidade da UFSM.

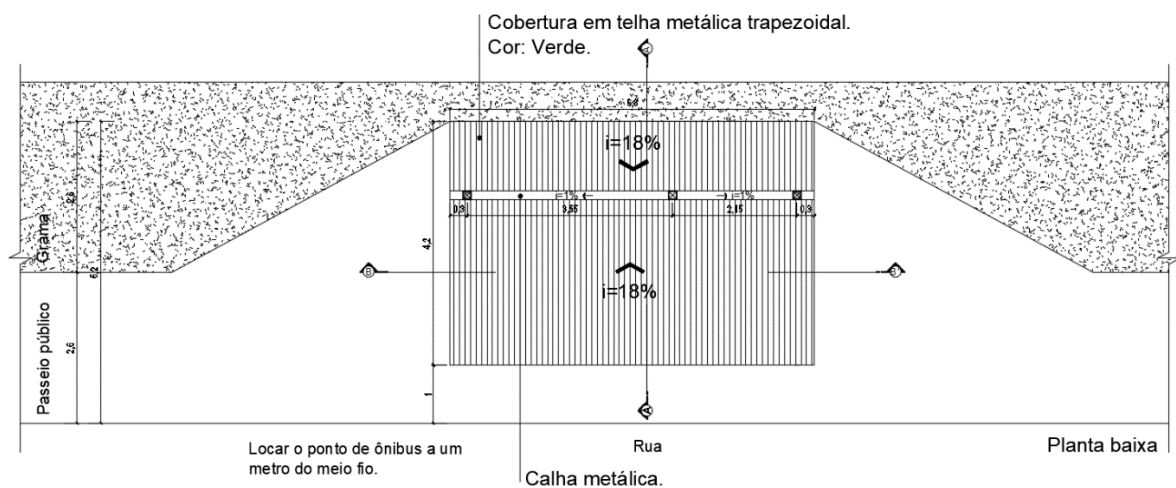
Figura 39 – Representação do levantamento das pontos de ônibus existentes no campus da UFSM.



Fonte: Autora (2019).

Foi constatado que os pontos de parada do ônibus são reconhecidas por placa de identificação, abrigo ou mesmo em alguns casos não apresentaram qualquer identificação. Os dados das pontos de ônibus foram vetorizadas com polígonos no *ArcMap* em formato *shapfile*. Foi convenicionado que nos pontos de ônibus intracampus onde não havia estrutura com abrigo construído seriam utilizados o padrão construtivo definido pela PROINFRA/UFSM (Figura 40).

Figura 40 - Módulo geral das paradas de ônibus UFSM.



Fonte: PROINFRA/UFSM (2015).

O modelo geral das paradas de ônibus possui um padrão que foi desenvolvido pela PROINFRA/UFSM no ano de 2015, sob a coordenação do arquiteto e urbanista Benoine Josué Poll, CAU A6546-3. A estrutura possui uma dimensão de 6,30 metros por 4,20 metros e uma altura de 2,75 metros. De forma que o modelo já foi instalado em dois pontos do campus, um em frente ao Centro de Ciências Sociais e Humanas (CCSH), a parada 8 do intracampus, e outro no Hospital Universitário Veterinário (HVU), a parada 14 do intracampus (Figura 41).

Figura 41- Abrigos de ônibus modelo padrão da UFSM instalados CCSH (a) e HVU (b).











Fonte: Autora (2019).


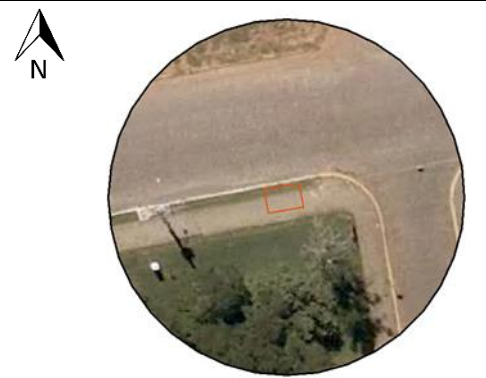



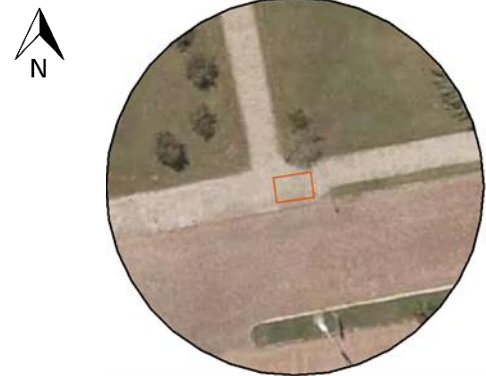

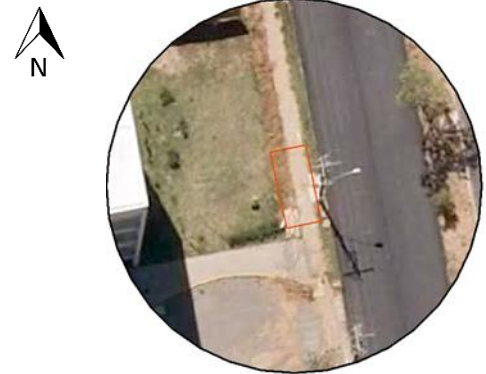
Para simular os níveis de irradiação solar disponíveis nos abrigos de ônibus do campus da UFSM foram localizadas todas as paradas de ônibus, totalizando 26 itens. Após foi realizada uma visita *in loco* para verificar a situação do mobiliário urbano nestes pontos.








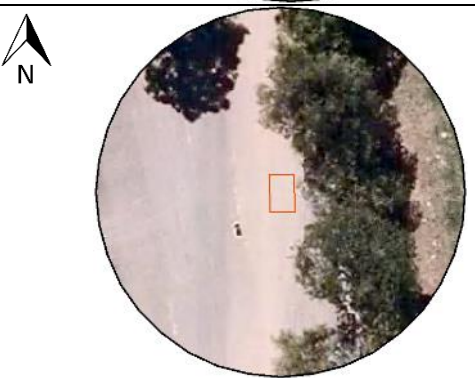
Baseando-se em parte da metodologia de Lazarotto (2015) e com os recursos de geoprocessamento mediante *software ArcMap*, delimitou-se as pontos de ônibus com um raio de 30 metros de abrangência do entorno imediato, conforme Tabela 2. Assim, utilizando a imagem aerofotogramétrica do IPLAN/SM (2013) em alta resolução realizou-se um mapa de uso do solo no entorno de todos pontos de ônibus, respeitando o raio de abrangência delimitado. Foram mapeados topografia, vias, passeios, área permeável, edificação, arborização e o suposto abrigo de ônibus, atribuindo todos os dados de alturas de acordo com o uso do solo através da tabela de atributos.









Com todos os dados mapeados e georreferenciados em formato vetor (shapefile), foi realizada uma nova conversão em imagem raster (resolução espacial 0,01 x 0,01), sendo este o material base para gerar o mapas de irradiação solar.













Tabela 2 - Pontos de ônibus.









1 - Ipê amarelo		
2 - RU II		
3 - Acessibilidade		
4 - Jardim botânico		

5 - Geografia		
6 - CAL		
7 - Agronomia		
8 - CCSH		

<p>9 - Politécnico</p>		
<p>10 - Fitotecnia</p>		
<p>11 - Zootecnia</p>		
<p>12 - Tambo</p>		

<p>13 – Veterinária II</p>		
<p>14 - HVU</p>		
<p>15 - Agittec</p>		
<p>16 – Centro Eventos</p>		

17 – Ed. Física		 
18 - Reitoria		 
19 - Parádão		 
20 - Planetário		 

21 - CEU		
22 - Biblioteca central		
23 - HUSM		
24 - Bancos		

25 - Incubadora		
26 - CT		

Fonte: Autora (2019); IPLAN/SM (2013).

Com a imagem raster base contendo as informações de altura no raio de 30,00 metros no entorno de cada uma das 26 pontos de ônibus, reaplicou-se a metodologia para geração das imagens, apresentando os níveis de irradiação solar disponíveis na cobertura de cada abrigo por meio da ferramenta *Area Solar Radiation* do ArcMap (item 5.2 desta pesquisa).

A configuração do tempo se deu para o período anual, totalizando 365 dias. Assim é possível verificar os níveis de irradiação disponíveis na cobertura dos supostos abrigos para avaliar o impacto do sombreamento no entorno. Na imagem gerada é possível selecionar o pixel para obter a informação do valor de irradiação disponível em determinado ponto, sendo os valores dado em Wh/m².

Para apurar o valor de geração energética que cada ponto de ônibus poderia fornecer a rede elétrica, foi realizado uma paginação dos módulos fotovoltaicos na cobertura do abrigo, a fim de verificar a quantidade de módulos compatíveis.

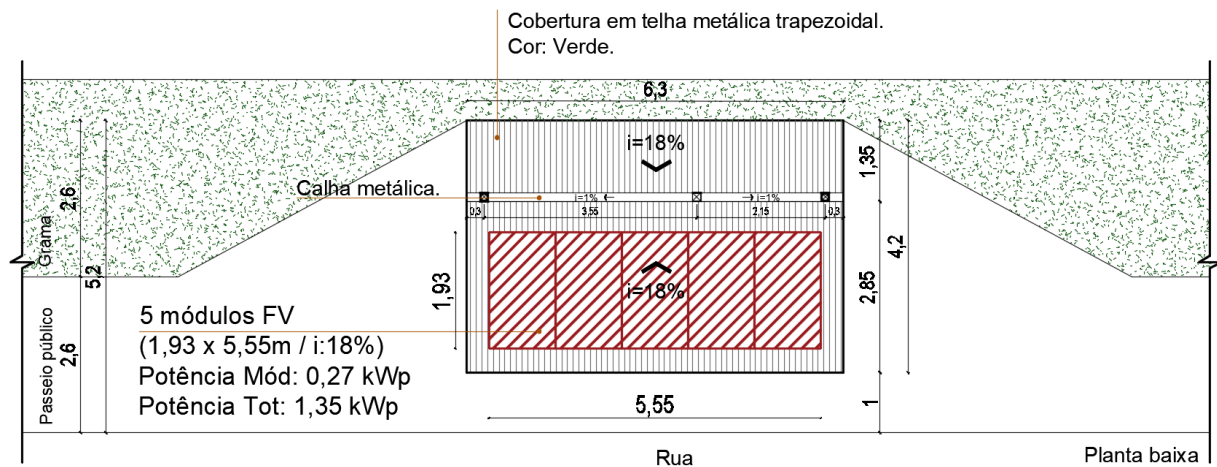
O modelo padrão do ponto de ônibus desenvolvido pela Proinfra/UFSM possui cobertura com duas águas assimétricas, sendo uma água de 1,35 metros por 6,30 metros e outra de 2,65 metros por 6,30 metros, separadas por uma calha central.

Já os módulos fotovoltaicos estipulados para uso, foram o padrão adotado pela Usina Fotovoltaica de 100 kW ativa no campus universitário, tendo a dimensão de 1,11 metros por 1,93 metros e potência de 0,27 kWp cada.

Desta forma, ao realiza a paginação dos módulos fotovoltaicos na cobertura, o melhor ajuste foi cinco módulos na cobertura de maior extensão, resultando em um sistema fotovoltaico de 5,55 metros por 1,93 metros, totalizando 1,35 kWp de potência por sistema.

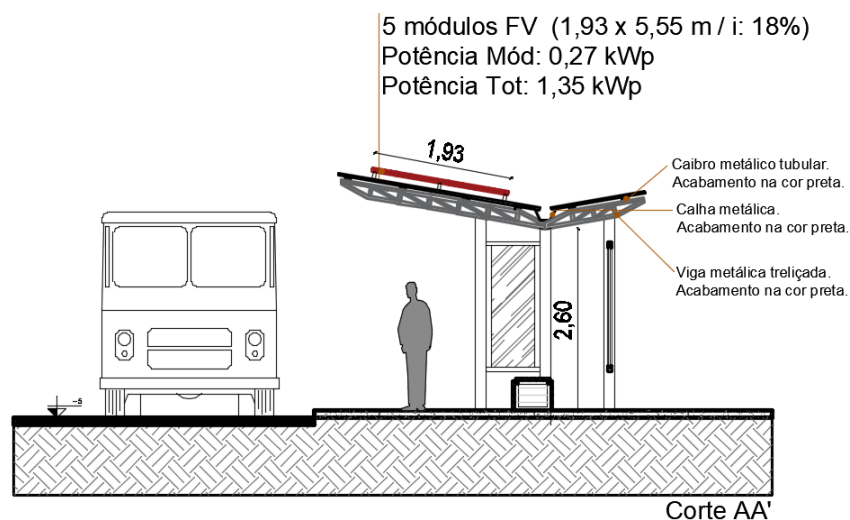
Observa-se nas Figura 42 e Figura 43 a configuração do sistema fotovoltaico na cobertura do modelo de abrigo de ônibus padrão da UFSM.

Figura 42 - Planta baixa do modelo de ponto de ônibus com módulos fotovoltaicos.



Fonte: Proinfra/UFSM (2015) adaptado pela autora.

Figura 43 - Corte de modelo ponto de ônibus com módulos fotovoltaicos.



Fonte: Proinfra/UFSM (2015) adaptado pela autora.

Como os abrigos de ônibus possuem diferentes posicionamentos em relação ao norte geográfico, e como as paradas são paralelas à rua e como todas ruas são norte-sul e leste-oeste. Realizou-se uma validação dos valores de irradiação solar obtidos pelo pixel do ArcMap (SIG) e do Radiasol2 nos quatro pontos cardeais.

Assim, como o valor obtido de irradiação solar disponibilizado pelo SIG é dado em inclinação 0° e desvio azimutal 0°, enquanto a cobertura do abrigo de ônibus possui a cobertura com inclinação a 10° e diferentes desvios azimutais (podendo ser 0° ou norte, + 90° ou leste, +180° ou sul e -90° ou oeste). Estipulou-se os valores médios mensais de todos posicionamentos geográficos e inclinações, a fim de verificar o impacto nos níveis de irradiação solar em cada ponto do mapa.

Posteriormente, foi mensurado a quantidade de geração anual em cada parada de ônibus (Eq. 2):

$$E = \frac{P \cdot (\text{Irr} \cdot 365) \cdot \text{PR}}{G} \quad (2)$$

E = Geração solar FV (kWh)

P = Potência do sistema (kWp)

Irr = Irradiação solar diária no plano do módulo (kWh/m²)

PR = Rendimento do sistema (cabos e sistema 80%)

G = Irradiância (kWh/m²)

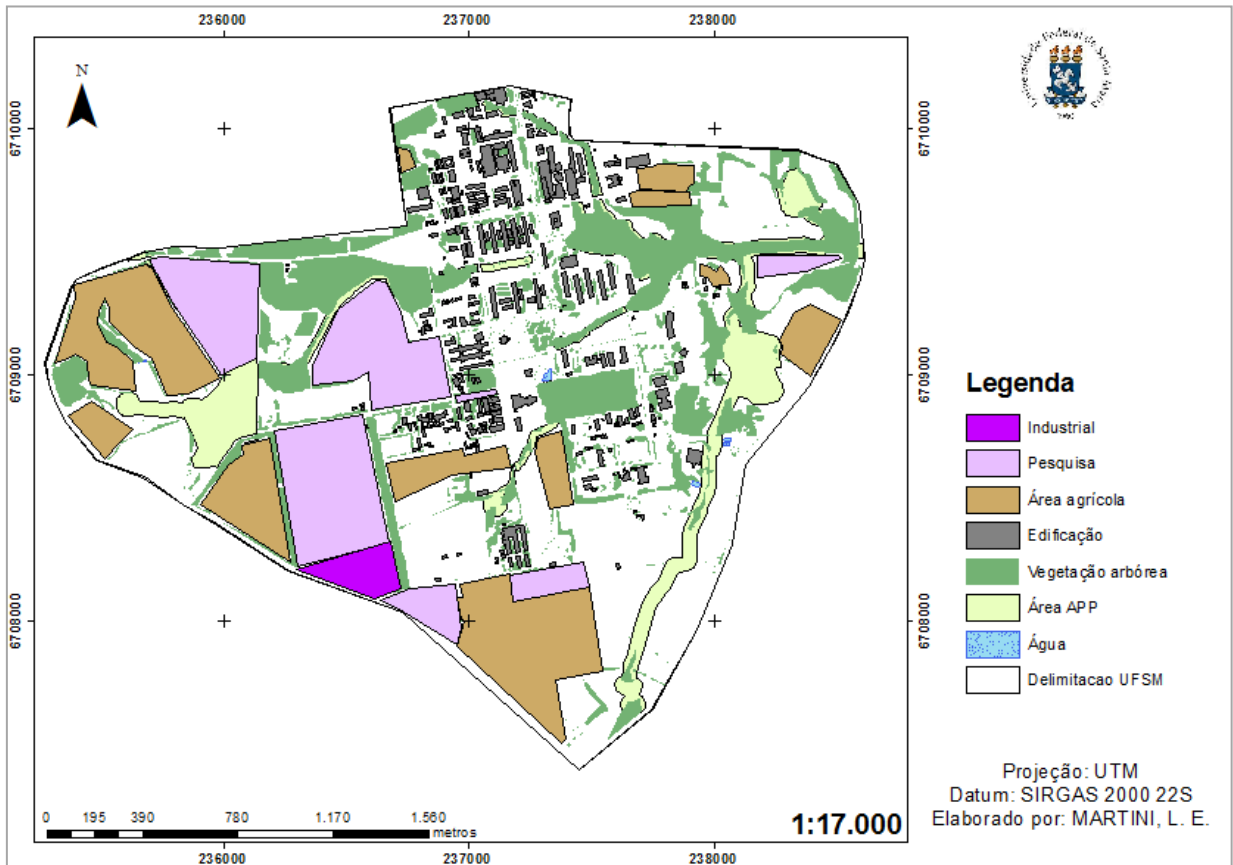
O valor de irradiação solar utilizado foi média diária anual, para obter o valor da geração energética no período de um ano.

3.5 AVALIAÇÃO DOS ESPAÇOS LIVRES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Para avaliar os espaços livres do campus da UFSM para geração de energia, utilizou-se como base o mapa de irradiação solar anual que será gerado pelo Solar Analyst do Arcmap (item 5.2) abrangendo toda extensão do campus. Assim, realizou-se uma sobreposição de camadas, demonstrado na Figura 44, sendo elas: edificações, vegetação arbórea (nativa, exótica e imune ao corte), água, área de preservação permanente e áreas de plantio.

Este mapa de uso do solo foi baseado nos dados apurados anteriormente (item 5.1), porém as camadas não levantadas anteriormente, como água e áreas de plantio, foram delimitadas segundo a pesquisa de Valentini (2010), que realizou um planejamento ambiental como base ao Plano Diretor do Campus da UFSM.

Figura 44 - Uso do solo na UFSM



Fonte: Autora (2019).

O objetivo desta investigação é a qualificação dos espaços livres para fins de geração de energia fotovoltaica, visto que no ano de 2018 houve a inauguração de uma Usina de Microgeração Solar Fotovoltaica na sede da UFSM, sendo uma pesquisa da Universidade em parceria com a empresa Rio Grande Energia (RGE Sul) e a Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL Energia). Este projeto de Eficiência Energética tem potência instalada de 100kW, demonstrada na Figura 45. (ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO DO GABINETE DO REITOR - UFSM, 2018).

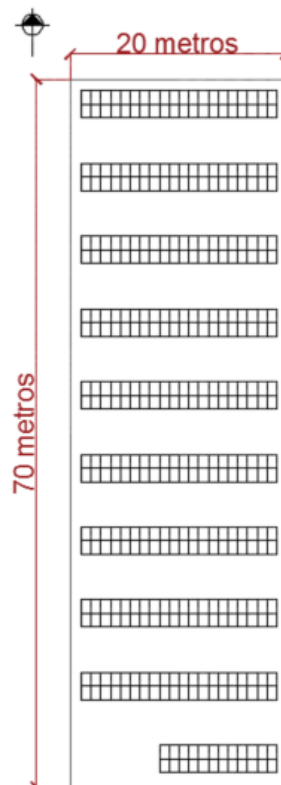
Figura 45 -Usina FV da UFSM em parceria com RGE Sul e CPFL Energia.



Fonte: Assessoria de comunicação do Gabinete do Reitor - UFSM (2018).

Desta forma, para verificar por análise quais espaços livres estão recebendo níveis de irradiação solar adequada para geração de energia no campus, delimitou-se a mesma dimensão da usina de 70,00 metros por 20,00 metros (Figura 46). Sendo o modelo da Usina FV 100 kW, que já está em funcionamento, verificando assim as zonais potenciais para reaplicação desta tecnologia.

Figura 46 – Planta baixa da Usina FV de 100 kW.



Fonte: INRI/UFSM (2019) adaptado pela autora.

Então, para que cada Usina de potência de 100 kW o número de módulos fotovoltaicos instalados é 384 unidades de 0,27 kWp, totalizando 103,68 kWp por Usina. A partir da potência do sistema estipulada, calculou-se a geração anual do sistema (Eq. 2):

$$E = \frac{P \cdot (\text{Irr} \cdot 365) \cdot \text{PR}}{G} \quad (2)$$

E = Geração solar FV (kWh)

P = Potência do sistema (kWp)

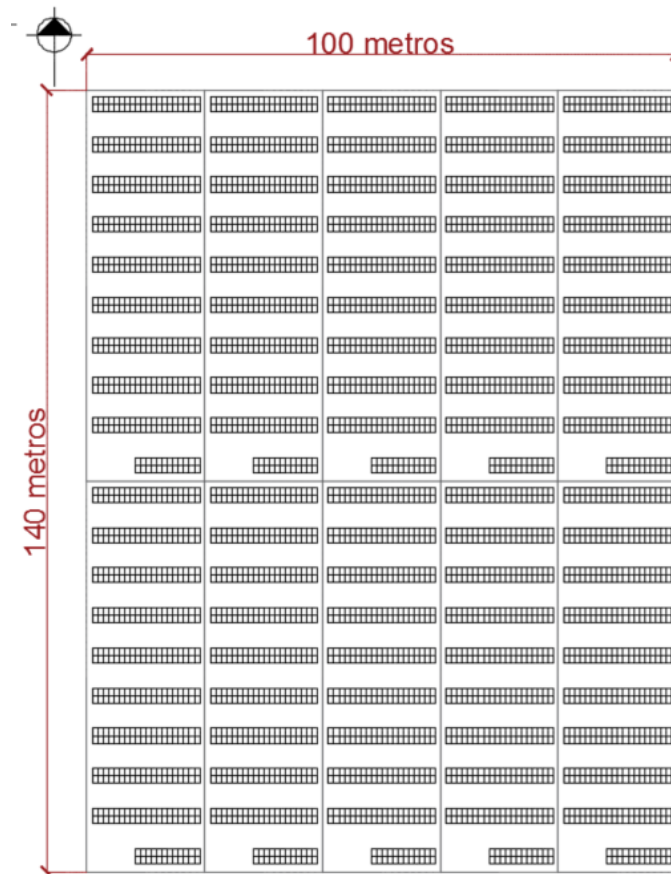
Irr = Irradiação solar diária no plano do módulo (kWh/m²)

PR = Rendimento do sistema (cabos e sistema 80%)

G = Irradiância (kWh/m²)

Para uma segunda análise, especula-se a possibilidade da UFSM receber outra Usina de Geração Fotovoltaica na sede da UFSM, estimando para isso uma potência instalada de 1 MegaWatt, o que representa dez vezes a potência da primeira. Assim, foi realizado um estudo dos espaços livres no campus que pudesse comportar esta usina, que replicando a Usina Ativa dez vezes resultaria em uma dimensão média de 140,00 metros por 100,00 metros (Figura 47).

Figura 47 - Planta baixa da Usina FV de 1 MW.



Fonte: Autora (2019).

Neste caso, para esta potência instalada, o número de módulos é de 3.840 de 0,27 kWp cada, totalizando uma potência de 1.036,8 kWp. A partir deste valor, reaplica-se a equação 2, para apurar a estimativa de geração energética anual.

3.6 COMPARATIVO DE GERAÇÃO COM CONSUMO ENERGÉTICO DA UFSM

Com as estimativas de geração de energia elétrica pelos sistemas fotovoltaicos calculados, obteve-se os valor referentes aos pontos de ônibus, considerada pequena escala, e também das Usinas FV, sendo elas de 100 kW e 1 MW, enquadradas como grande escala.

Para verificar a economia que a instalação destes sistemas fotovoltaicos poderiam resultar nas despesas de energia elétrica do campus universitário da UFSM, realizou-se uma análise comparativa entre geração energética e demanda de eletricidade.

Inicialmente, obteve-se por meio da PROINFRA/UFSM, os dados de consumo de energia elétrica no campus no período de quatro anos, de 2014 até 2018 (Tabela 3).

Tabela 3 – Consumo de energia elétrica da UFSM no período de 2014 até 2018, dado em kWh.

MÊS	2014 (kWh)	2015 (kWh)	2016 (kWh)	2017 (kWh)	2018 (kWh)	MEDIA (2014-2018)
JANEIRO	1.696.171	1.339.260	1.257.596	1.304.374	1.264.237	1.372.328
FEVEREIRO	1.282.563	1.252.790	1.320.748	1.295.609	1.333.732	1.297.088
MARÇO	1.370.654	1.575.417	1.407.720	1.555.010	1.420.161	1.465.792
ABRIL	1.320.951	1.354.458	1.508.904	1.215.760	1.490.195	1.378.054
MAIO	1.319.933	1.195.659	1.311.351	1.266.761	1.320.633	1.282.867
JUNHO	1.265.859	1.316.622	1.555.298	1.345.598	1.305.881	1.357.852
JULHO	1.268.724	1.223.653	1.260.338	1.170.415	1.295.038	1.243.634
AGOSTO	1.251.454	1.171.012	1.295.053	1.277.183	1.367.016	1.272.344
SETEMBRO	1.338.543	1.199.624	1.245.397	1.246.099	1.156.023	1.237.137
OUTUBRO	1.429.057	1.280.224	1.190.630	1.230.308	1.216.887	1.269.421
NOVEMBRO	1.582.874	1.318.813	1.304.853	1.333.007	1.529.677	1.413.845
DEZEMBRO	1.494.023	1.320.269	1.281.246	1.484.491	1.469.678	1.409.941
TOTAL	16.620.806	15.547.801	15.939.134	15.724.615	16.169.158	16.000.303

Fonte: PROINFRA/UFSM (2018).

Então, com o valor médio obtido do período de 2014 até 2018, designou-se o percentual de economia que os sistemas fotovoltaicos acarretariam no consumo energético da UFSM anualmente. Estes valores foram obtidos individualmente para cada sistema fotovoltaico, sendo eles: pontos de ônibus FV, Usinas FV de 100 kW e Usina FV de 1 MW.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constituiu fator fundamental para o desenvolvimento deste estudo a composição da base de dados, representando geometricamente as variáveis espaciais. Para assim, fazer o cruzamento e sobreposições de dados conforme as necessidades e intenções, o que resultou em diferentes planos de informações.

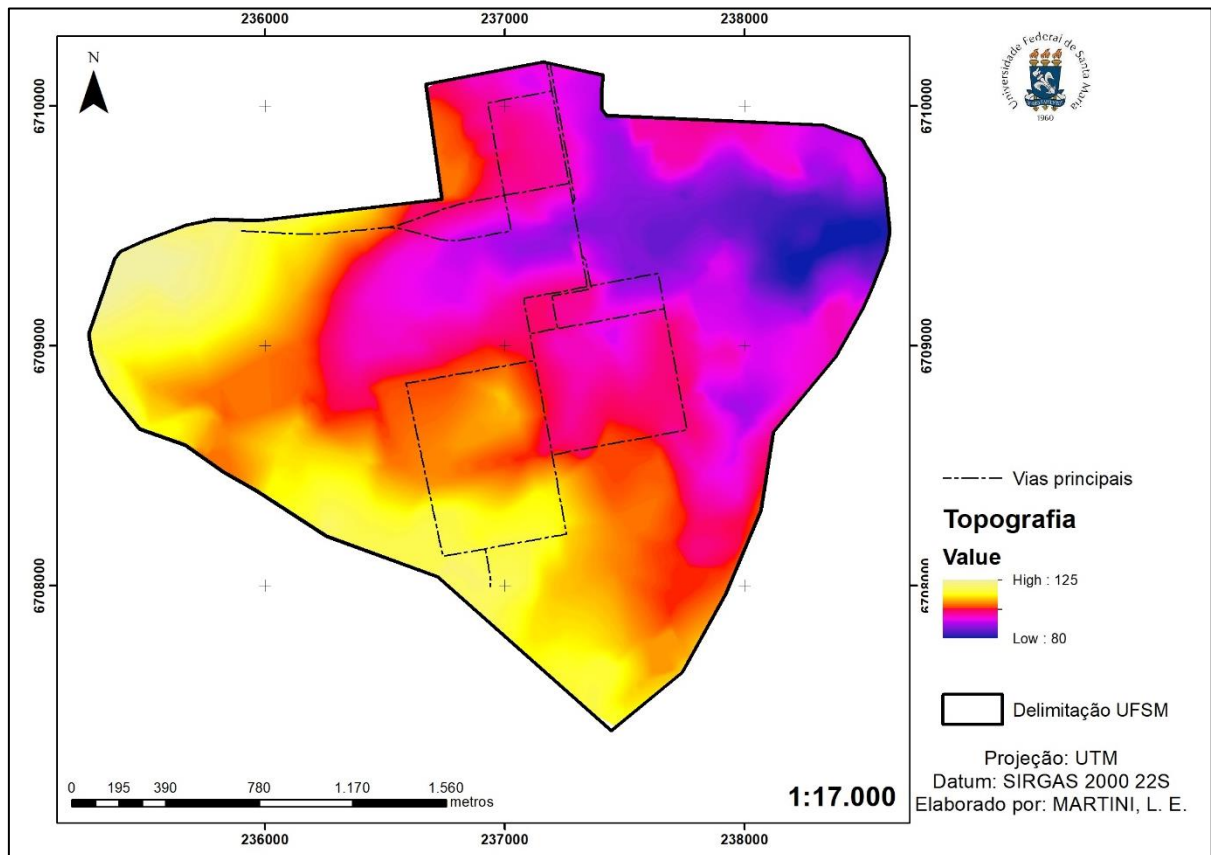
Assim sendo, foi obtido um total de 5 mapas de dados gerais com toda extensão do campus, 13 mapas de irradiação do campus, 26 imagens de uso do solo e 26 imagens de irradiação solar nos pontos de ônibus.

4.1 DADOS DO CAMPUS DA UFSM

Para avaliar o impacto dos níveis de irradiação solar disponíveis nos limites do campus da Universidade Federal de Santa Maria foram levantados dados que resultam em sombreamento decorrente de alturas do ambiente natural e construído, impactando no recebimento de energia por radiação.

Em relação a topografia, o modelo digital de elevação resultou em um mapa hipsométrico o qual representa a elevação do terreno por meio de cores. Observa-se que a área de estudo tem uma variação entre 80 e 125 metros de altitude, com as maiores elevações na porção sudoeste e oeste (cor amarela) e a zona mais baixa à leste (cor roxa). Sendo que a parte central representa valores intermediários e de transição entre estas diferentes alturas (Figura 48).

Figura 48 - Mapa raster topográfico.



Fonte: Autora (2019).

O campus possui uma extensão no sentido oeste-leste de 3.375,00 metros e uma declividade de 45,00 metros, resultando em uma inclinação proporcional a 1,33%. Sendo assim, este declínio pode não ser suficiente ao ponto de interferir de forma notável nos níveis de irradiação solar na superfície do terreno, a partir do sombreamento do próprio terreno.

De acordo com Fernandes e Sá (2007), o aumento da declividade diminui a quantidade de energia recebida em consequência do ângulo de incidência da radiação, além do efeito de sombras que é provocado pelo relevo, que é frequente em regiões montanhosas. Desta forma, como a área de estudo possui uma declividade topográfica gradativa e sem atenuações, acaba não resultando em sombreamentos significativos de relevo, podendo ser considerado o campus uma zona com potencial para recebimento de altos níveis de radiação.

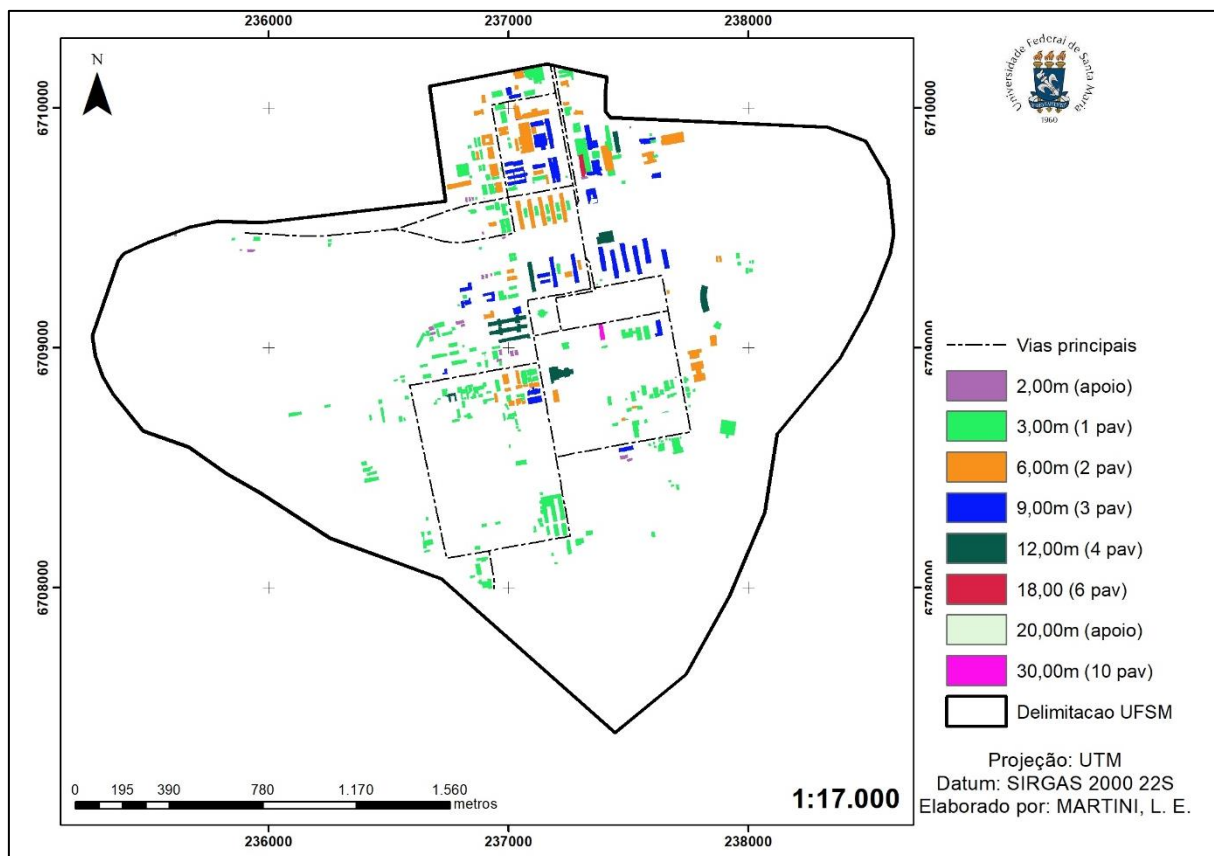
A respeito da urbanização, o mapeamento das edificações no campus foram relacionadas à altura da construção, ou seja, a verticalização no espaço urbano. A

multiplicação dos pavimentos impacta nos níveis de irradiação recebidos no solo, pois resultam em sombreamentos no entorno das edificações.

No mapeamento das edificações do campus foram adotados os números de pavimentos, que tem uso educacional, administrativo, serviços, residencial, cultural, exposição e apoio.

Os itens como estufas/guaritas e caixas d'água foram classificados como apoio e estipulada uma altura de 2,00 metros e 20,00 metros, respectivamente. As demais edificações foram classificadas por pavimento, visto que cada andar segue o padrão de 3,00 metros, foram identificadas edificações de 1, 2, 3, 4, 6 e 10 pavimentos (Figura 49).

Figura 49 - Mapa raster de densidade construtiva (altura edificações).



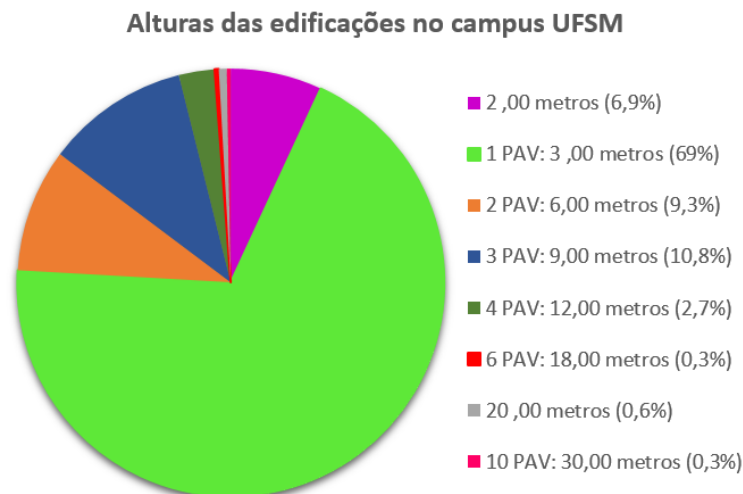
Fonte: Autora (2019).

A densidade construída está relacionada com a área edificada em relação ao terreno, visto que o campus possui um área total de 521,85 hectares, enquanto de

área construída em projeção em torno de 239.578,00 m², isso equivale a 4,55% do solo em área construída em projeção. Representando uma porcentagem baixa de densidade construtiva, o que pode ser considerado um aspecto em potencial benéfico em relação ao recebimento de irradiação solar na superfície do solo.

Sobre a verticalização é perceptível o predomínio de edificações com baixa estatura, sendo que as edificações de 1 pavimento, convencionados com 3,00 metros de altura, representam 69% das tipologias construtivas. Seguido por prédios de 2 pavimentos (6,00 metros) e 3 pavimentos (9,00 metros), que constituem 9,3% e 10,8% do total construído. Já as edificações de 4 pavimentos (12,00 metros) compõe 2,7%, enquanto as de 6 pavimentos (18,00 metros) e 10 pavimentos (30,00 metros) aparecem em minoria, representando 0,3% destas tipologias (Figura 50).

Figura 50 - Gráfico de verticalização construtiva UFSM.



Fonte: Autora (2019).

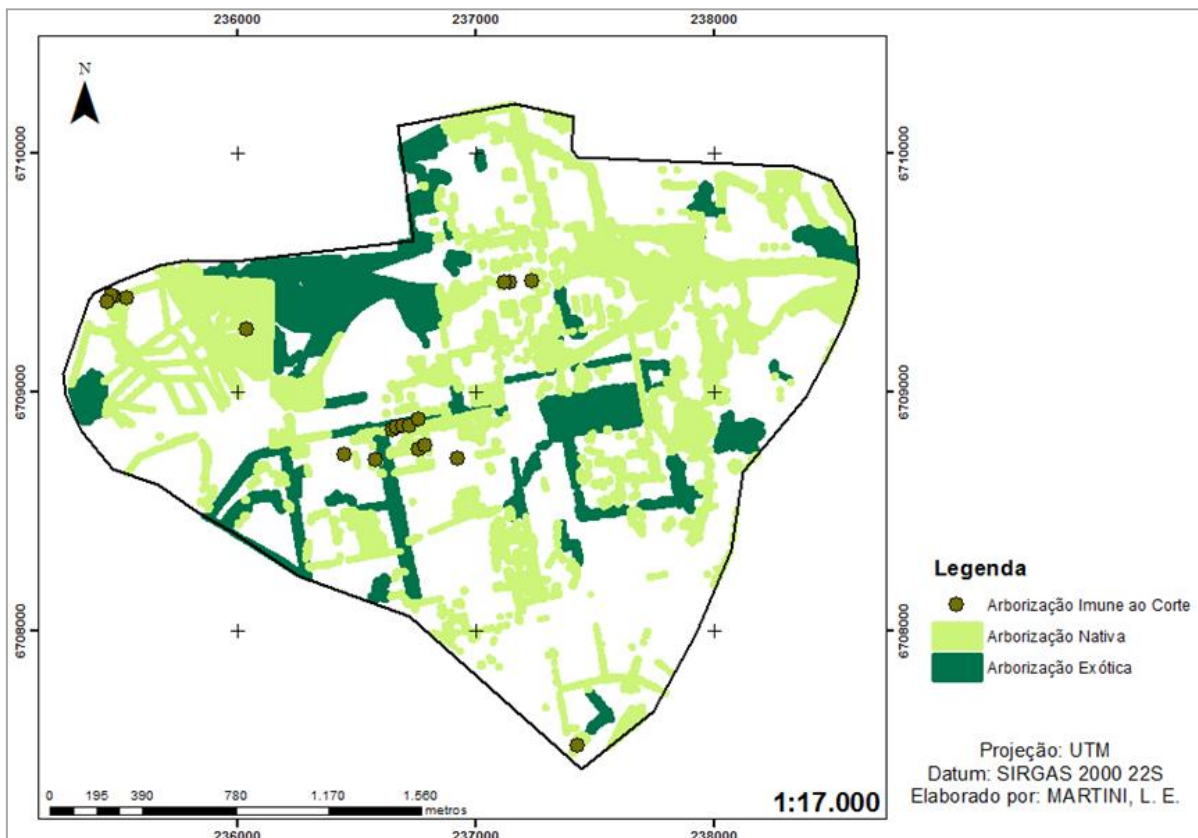
No que diz respeito ao impacto do ambiente construído no sombreamento do solo, o que afeta os níveis de irradiação solar recebidos, o mapeamento apresenta um predomínio de edificações com baixa estatura. Isso representa que o área do campus pode apresentar potencialidade no recebimento energético, visto que a projeção das sombras em virtude da trajetória solar é impactada pela altura solar e o azimute.

Além do ambiente construído, o ambiente natural é um fator relevante nos níveis de irradiação disponíveis no solo, pois sua altura pode configurar uma barreira no acesso a solar.

No campus da UFSM, as vegetações arbóreas foram mapeadas e classificadas como nativas, exóticas e imunes ao corte foram convencionadas alturas médias de 20,00 metros, 30,00 metros e 10,00 metros respectivamente. Sendo que as árvores imunes ao cortes totalizam 17 unidades em toda área de estudo.

No que diz respeito a densidade vegetativa do campus, totaliza uma área de 166,56 hectares, isso equivale a uma cobertura vegetal arbórea de 31,69% em relação a área total do campus. Dentre as variáveis estudadas que impactam nos níveis de irradiação solar disponíveis no solo, percebe-se que o mapeamento arbóreo representa os maiores extensões, conforme observa-se na Figura 51. Desta forma, pode ser considerado um parâmetro de grande influência no resultado final deste estudo no que se refere aos efeitos do sombreamento nos níveis de irradiação recebidos, o que demonstra a validade de considerar vegetação neste estudo.

Figura 51 - Mapa raster vegetação arbórea nativa, exótica e imune ao corte.

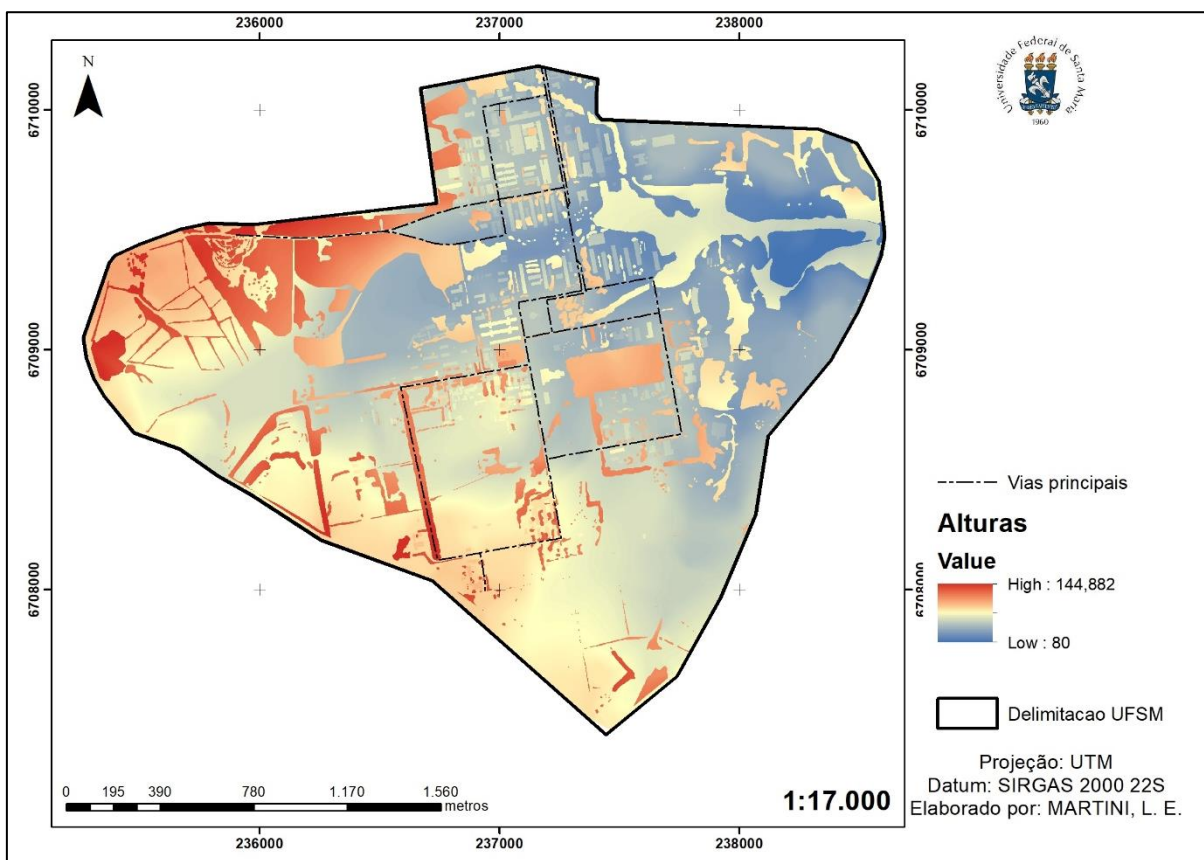


Fonte: Autora (2019).

Como forma de sobreposição de informações para fins de análise do espaço, foi realizada uma justaposição das camadas topografia, edificações e vegetação arbórea resultando em uma mapa com o somatório da altura destas camadas.

Na Figura 52 observa-se que a área de estudos é composta por alturas entre 80 e 144,88 metros, partindo da tonalidade azul as menores altitudes e na tonalidade alaranjada as maiores altitudes. O maiores efeitos visuais mapeados são percebidos pela camada de vegetação arbórea, visto que é dominante no espaço.

Figura 52 - Mapa raster alturas gerais (topografia, edificação e arborização).



Fonte: Autora (2019).

De uma maneira geral, o ambiente construído e natural em altura mapeados ocupam 36,24% da área total do campus, sendo um indicativo a potencialidade de grandes espaços livres na altura do solo. Percebe-se que as áreas com maiores concentrações são as zonas centrais, norte e oeste, em contrapartida, a região sul e leste contemplam as áreas mais livres de obstrução.

4.2 NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO CAMPUS

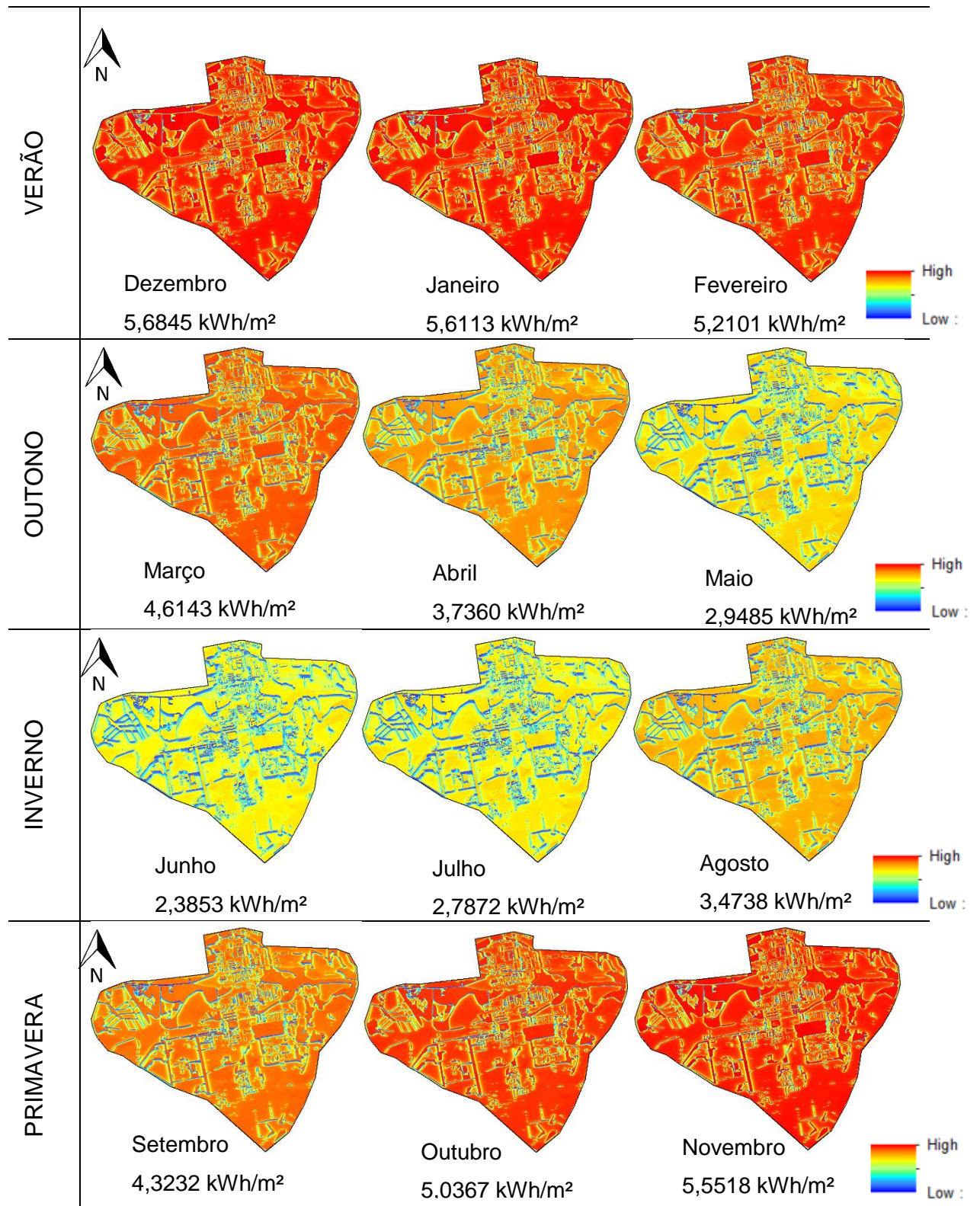
Os mapas de irradiação solar para o campus da Universidade Federal de Santa Maria foram obtidos com o uso da ferramenta Solar Analyst do software ArcGIS. Os níveis de irradiação solar disponíveis e dados solarimétricos foram resultantes de variáveis como localização geográfica, período do ano e ângulo solar, além de impacto do sombreamento por alturas e barreiras. Os mapas mensais forneceram dados de saída em Wh/m², sendo a soma do período estipulado pelos dias de cada mês. Todos os mapas seguem a mesma escala de cores, de alto para baixo os níveis de irradiação solar, seguindo a sequência de cores: vermelho, laranja, amarelo, azul claro e azul escuro.

Como os resultados obtidos no software são dados em Wh/m², para chegar a um valor médio mensal, primeiramente foi realizada a conversão de Wh/m² para kWh/m², dividindo o valor total mensal por 1000. Este valor resultante foi dividido pelo número de dias do mês.

Como campus da Universidade Federal de Santa Maria está localizado no hemisfério sul e classificado pelo clima subtropical, que corresponde a duas estações do ano bem definidas. Assim, o verão apresenta elevadas temperaturas, enquanto o inverno frio intenso.

A Tabela 4 apresenta o ciclo das estações do ano durante o período de um ano, com o comportamento dos níveis de irradiação solar representados por mapeamento. O mapa raster das alturas gerais (topografia, edificações e arborização) foi utilizado como base para obtenção dos níveis de irradiação solar disponíveis em cada época do ano.

Tabela 4 - Figuras com o valor médio de irradiação diária mensal do campus da UFSM no período de um ano em kWh/m².



Fonte: Autora (2019).

O ciclo anual do comportamento solar é percebido pela percepção visual representada pela escala gráfica de cores. Nota-se que os meses de verão apresentam os maiores níveis de irradiação, representado pelas cores mais quentes, sendo decorrente do movimento de translação da terra. Visto que é neste intervalo de tempo que o Hemisfério Sul está mais inclinado em relação ao Sol, recebendo maiores quantidades de raios solares e por mais tempo, visto que os dias acabam sendo mais longos. Assim, apresentam-se os maiores índices anuais, com a média máxima mensal de dezembro em 5,6845 kWh/m², enquanto janeiro 5,6113 kWh/m² e fevereiro 5,2101 kWh/m². Dentre os valores, dezembro é o ápice, o que pode ser consequência de ser o mês onde ocorre o solstício de verão, quando o sol está sobre o Trópico de Capricórnio, que segundo Bittencourt (2015) é a quando o eixo de rotação da Terra está perpendicular ao plano elíptico do sistema solar, significando “sol parado” em latim.

Em contrapartida, os meses de inverno apresentam os menores valores médios da radiação diária, pois o Planeta Terra está inclinado de modo que o Sol está posicionado sobre o Trópico de Câncer, recebendo menor quantidade de raios solares no Hemisfério Sul. Desta forma, o mês de junho apresentou o valor de 2,3853 kWh/m², enquanto julho 2,7872 kWh/m² e agosto 3,4738 kWh/m². Percebe-se que o valor de irradiação solar mais baixo ocorre em junho, referente ao mês que ocorre o solstício de inverno, considerado o dia mais curto do ano.

Os equinócios ocorrem quando o sol está posicionado sobre a linha do Equador, equilibrando os raios solares entre os hemisférios Norte e Sul. Os equinócios de outono e primavera ocorrem em março e setembro, respectivamente, mantendo uma valor padrão entre os meses. Sendo que em março a média mensal foi de 4,6143 kWh/m², enquanto setembro 4,3232 kWh/m². Esta diferença pode estar relacionada à estação precedente, visto que ambos são períodos de transição entre os solstícios.

Porém, o comportamento da irradiação nos meses referentes ao outono e primavera se diferem, de forma que meses de outono apresentaram valores de irradiação mais baixos. Os meses de abril e maio com valores de 3,7360 kWh/m² e 2,9485 kWh/m², nesta ordem. Enquanto na primavera o mês de outubro obteve 5,0367 kWh/m² e novembro 5,5518 kWh/m².

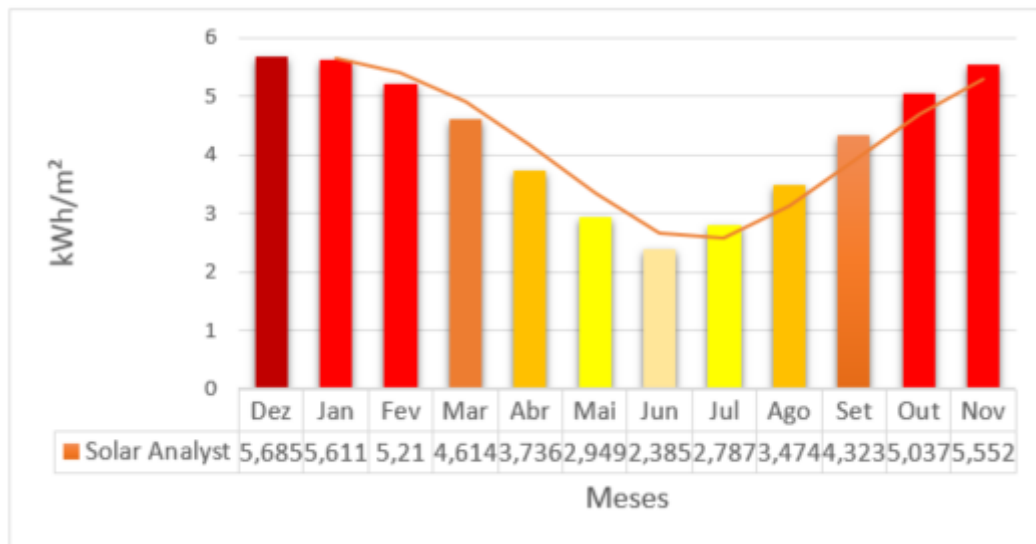
Observa-se que o valor médio indicado é sempre dos locais sem sombreamento, indicados como “high” na legenda.

Nas imagens mensais observa-se pela escala de cores que os maiores valores de irradiação solar estão mapeados nos topos das edificações e arborização, além de áreas de terreno completamente livre de barreiras em altura. Os menores índices estão representados no entorno dos ambientes construído e natural, que possuem alguma altitude e projetam sombra.

Como o trajeto dos raios solares ocorre de leste (nascente) a oeste (poente), percebe-se que isso impacta no posicionamento das sombras no entorno das edificações ao longo do ano. Nos meses de verão, devido à maior altura solar, a projeção dos raios solares no plano horizontal são menores, ao contrário do inverno. Desta forma, enquanto no verão os maiores níveis de irradiação solar disponíveis estão no topo das edificações e arborização, no inverno os maiores níveis de irradiação disponíveis estão na fachada norte.

O comportamento dos níveis de irradiação solar disponíveis no campus da UFSM estão representados na Figura 53.

Figura 53 - Gráfico irradiação média diária mensal do campus UFSM em kWh/m².



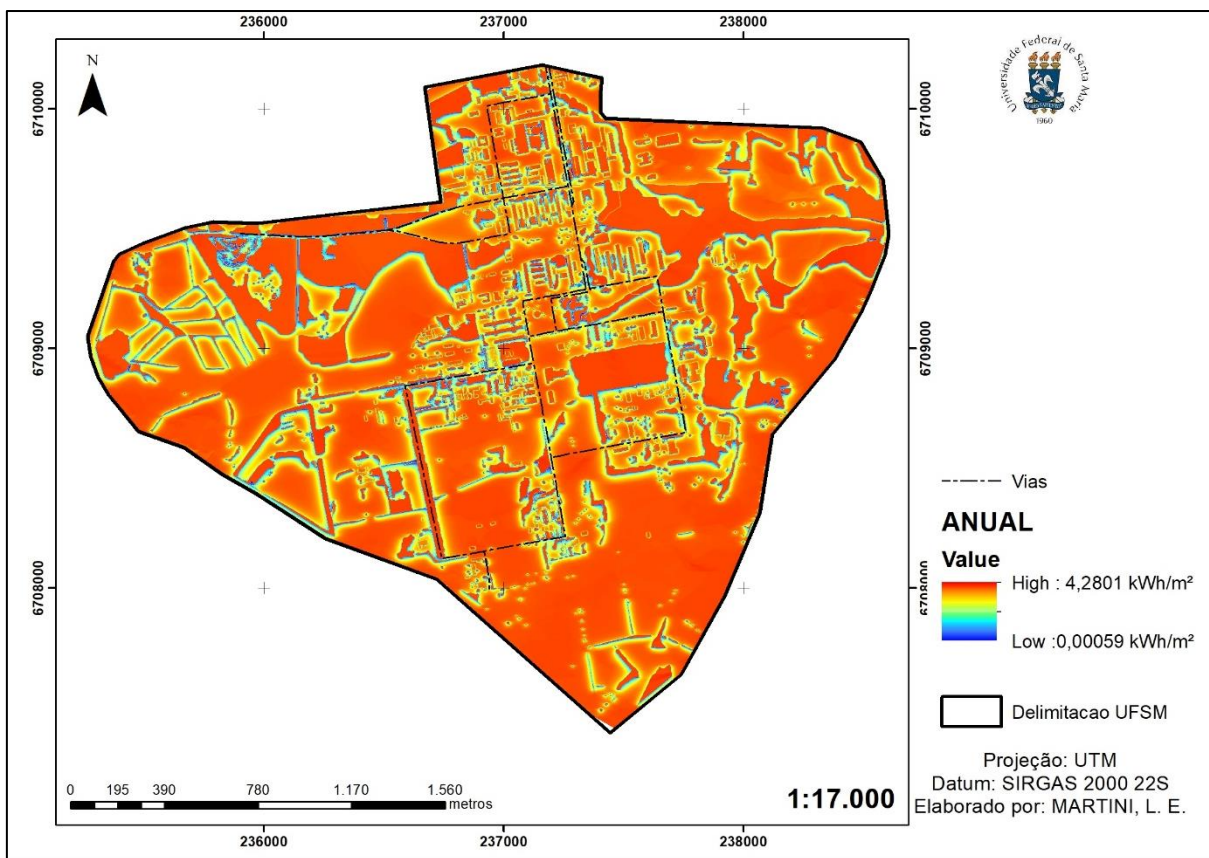
Fonte: Autora (2019).

Percebe-se que no ciclo de 12 meses, 5 meses apresentam altos níveis de irradiação solar, sendo eles: janeiro (5,611 kWh/m²), fevereiro (5,210 kWh/m²), outubro (5,037 kWh/m²), novembro (5,552 kWh/m²) e o ápice em dezembro (5,685 kWh/m²), mês do solstício de verão. Enquanto que março (4,614 kWh/m²), abril (3,736 kWh/m²), agosto (3,474 kWh/m²) e setembro (4,323 kWh/m²) apresentam médios

níveis de irradiação solar, totalizando 4 meses. Já, os meses de maio, junho (2,385 kWh/m²) e julho (2,787 kWh/m²) apontam os mais baixos índices de irradiação solar, com o valor mínimo em junho, mês do solstício de inverno.

Para avaliar o comportamento solar no campus da UFSM no período de um ano, foi gerado um mapa (Figura 54) com o somatório da irradiação solar disponível em 365 dias.

Figura 54 - Mapa irradiação solar média máxima anual do campus UFSM em kWh/m².



Fonte: Autora (2019).

A partir do mapa calculado pelo Solar Analyst do ArcGIS, foi encontrado o valor médio de irradiação solar diária de 4,2801 kWh/m². Percebe-se pela escala de cores que os maiores níveis disponíveis estão nos picos dos itens em altura, enquanto os mais baixos onde há sombreamento.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE IRRADIAÇÃO

Para validar os valores de irradiação solar resultantes da ferramenta Solar Analyst do ArcGIS e verificar sua confiabilidade para aplicação neste estudo, foram realizadas análises comparativas com os dados gerados pelo software Radiasol2 do Labsol/UFRGS e também os dados medidos in loco pelo piranômetro do sistema solar fotovoltaico instalado no Colégio Politécnico da UFSM.

Primeiramente, como os resultados do SIG são derivados da Irradiação Global (direta e difusa) e são dados sem inclinação e sem desvio azimutal, foram coletados os dados de irradiação média do Radiasol2 com as mesmas condições mensais (Tabela 5).

Tabela 5 - Dados média de irradiação solar mensal e anual por SIG (Solar Analyst) e Radiasol com inclinação 0°.

Mês	Solar Analyst (SIG) I = 0°	Radiasol2 I = 0°	Diferenças percentuais
Janeiro	5,6113 kWh/m ²	6,30 kWh/m ²	+ 12,273 %
Fevereiro	5,2101 kWh/m ²	5,56 kWh/m ²	+ 6,716 %
Março	4,6143 kWh/m ²	4,82 kWh/m ²	+ 4,458 %
Abril	3,7360 kWh/m ²	3,56 kWh/m ²	- 4,711 %
Mai	2,9485 kWh/m ²	2,90 kWh/m ²	- 1,645 %
Junho	2,3853 kWh/m ²	2,29 kWh/m ²	- 3,995 %
Julho	2,7872 kWh/m ²	2,51 kWh/m ²	- 9,945 %
Agosto	3,4738 kWh/m ²	3,18 kWh/m ²	- 8,458 %
Setembro	4,3232 kWh/m ²	3,97 kWh/m ²	- 8,170 %
Outubro	5,0367 kWh/m ²	4,98 kWh/m ²	- 1,126 %
Novembro	5,5518 kWh/m ²	6,00 kWh/m ²	+ 8,073 %
Dezembro	5,6845 kWh/m ²	6,41 kWh/m ²	+ 12,763 %
Média anual	4,2801 kWh/m²	4,37 kWh/m²	+ 2,100 %

Fonte: Autora (2019).

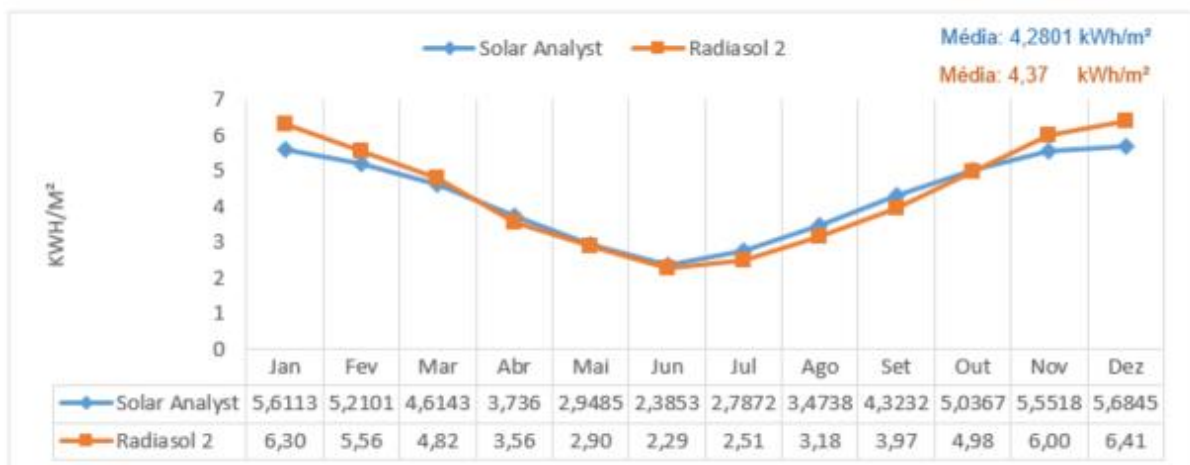
Observa-se variações de valores em todos os meses, variando para mais ou menos em relação ao valor neutro, zero. Os meses que apresentaram menores diferenças percentuais foram maio (- 1,645%) e outubro (- 1,126%), enquanto as maiores diferenças foram janeiro (+ 12,273%) e dezembro (+12,763%). Os demais meses com variações positivas foram fevereiro (+ 6,716%), março (+ 4,458%) e novembro (+ 8,073%) que apresentaram valores intermediários. Os meses que

apresentaram variações negativas foram abril (- 4,711%), junho (- 3,995%), julho (-9,945%), agosto (- 8,458%) e setembro (- 8,170%). Nota-se, que os meses que contemplam os períodos mais quentes do ano tiveram apresentaram as variações positivas e os meses mais frios as variações negativas.

Porém, ao fazer um balanço anual dos valores, a diferença percentual representou + 2,10% do Radasol2 em relação ao Solar Analyst. No qual o Radasol obteve valor de irradiação média anual 4,37 kWh/m², enquanto o Solar Analyst apresentou 4,2801 kWh/m².

Na Figura 55, é possível verificar por meio de um gráfico comparativo, o comportamento dos valores de irradiação solar global do Solar Analyst (SIG) e Radasol2 durante período de um ano.

Figura 55 - Gráfico comparativo valores médios de irradiação solar mensal SIG x Radasol em kWh/m² com inclinação 0°.



Fonte: Autora (2019).

Na tendência linear do gráfico, observa-se que os meses de maio (2,9485 kWh/m² e 2,90 kWh/m²), junho (2,3853 kWh/m² e 2,29 kWh/m²) e outubro (5,0367 kWh/m² e 4,98 kWh/m²) parecem estar coincidindo na escala de valores, representando que uma diferença percentual de até 4% pode indicar equivalência de valores. Percebe-se que as diferenças entres os meses não são tão salientes pelo Solar Analyst, como o Radasol2 prevê. O Solar Analyst parece ter uma tendência de dados mais lineares, com menor variação entre os meses.

Para uma segunda validação, foi realizada uma análise comparativa entre os dados *in loco* registrado pelo piranômetro do sistema solar fotovoltaico do Colégio Politécnico da UFSM no período de 2015 até 2018 e os dados disponíveis no Radasol2. Porém, como o sistema do Colégio Politécnico está posicionado com uma inclinação de 10° e um desvio azimutal de 83° Norte, o Radasol2 foi configurado nestas mesmas condições.

A vista disso, verifica-se que os dados do Radasol2 sem inclinação e sem desvio azimutal apresentam diminuta diferença de valor em relação ao dados do Radasol2 com inclinação de 10° e desvio azimutal de 7° L, sendo eles 4,37 kWh/m² e 4,2801 kWh/m², respectivamente, o que representa 2,100%.

A Tabela 6 apresenta valores comparativos entre os dados medidos pelo piranômetro do Colégio Politécnico e o software Radasol2.

Tabela 6 – Dados médios de irradiação solar mensal e anual por Radasol2 e Piranômetro do Colégio Politécnico da UFSM com inclinação de 10°.

Mês	Pirômetro Colégio Politécnico I = 10° Desvio azimutal 7° L (2015-2018)	Radasol2 I = 10° Desvio azimutal 7° L	Diferenças percentuais
Janeiro	5,4904 kWh/m ²	6,3 kWh/m ²	+14,75 %
Fevereiro	5,6695 kWh/m ²	5,66 kWh/m ²	- 0,17 %
Março	4,9809 kWh/m ²	5,11 kWh/m ²	+ 2,59 %
Abril	4,6029 kWh/m ²	3,9 kWh/m ²	- 15,27 %
Mai	4,0373 kWh/m ²	3,31 kWh/m ²	- 18,01 %
Junho	2,8607 kWh/m ²	2,67 kWh/m ²	- 6,67 %
Julho	2,9255 kWh/m ²	2,91 kWh/m ²	- 0,53 %
Agosto	3,6765 kWh/m ²	3,53 kWh/m ²	- 3,98 %
Setembro	3,8867 kWh/m ²	4,27 kWh/m ²	+ 9,86 %
Outubro	4,3896 kWh/m ²	5,18 kWh/m ²	+ 18,01 %
Novembro	4,5631 kWh/m ²	6,04 kWh/m ²	+ 32,37 %
Dezembro	5,3625 kWh/m ²	6,35 kWh/m ²	+ 18,41 %
Média anual	4,3707 kWh/m²	4,38 kWh/m²	+ 5,30 %

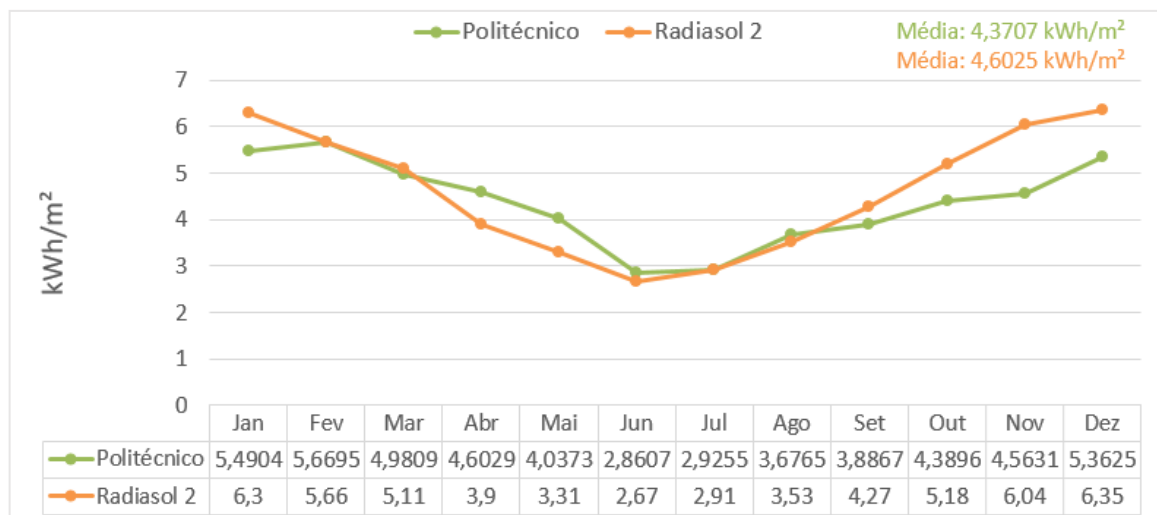
Fonte: Autora (2019).

As menores diferenças percentuais foram percebidas nos meses de fevereiro (-0,17%), março (+2,59%) e julho (-0,53%), enquanto a maior diferença apareceu em novembro (+32,37%). Os demais meses apresentaram diferenças intermediárias, nos meses de janeiro (+14,75%), abril (-15,27%), maio (-18,07%), junho (-6,67%) agosto (-13,78%), setembro (+9,86%) outubro (+18,01%) e dezembro (+18,41%).

Apesar de nesta análise os dados mês a mês apresentarem valores com maiores diferenças percentuais entre si do que a anterior, quando analisamos a média anual a diferença percentual é mínima, representando +5,30%. Desta forma, os dados medidos in loco pelo piranômetro do Colégio Politécnico apresentaram um valor médio anual de 4,3707 kWh/m², enquanto o software Radiasol2 calculou a média anual 4,6025 kWh/m².

A Figura 56 representa os valores mensais das duas fontes representadas por um gráfico em linha para fins comparativos.

Figura 56 - Gráfico comparativo valores médios de irradiação solar mensal Piranômetro Colégio Politécnico x Radiasol2 em kWh/m² com inclinação de 10°.



Fonte: Autora (2019).

No gráfico percebe-se que os meses com a maior proximidade de valores são fevereiro (5,6695 kWh/m² e 5,66 kWh/m²), março (4,9809 kWh/m² e 5,11 kWh/m²) e setembro (3,8867 kWh/m² e 4,27 kWh/m²) quando os pontos são quase coincidentes. De uma maneira geral as linhas se comportam mês a mês de maneira paralela, com alguns diferenças percentuais para mais ou menos, sendo que em fevereiro e setembro os valores cruzam a zona neutra (zero), passando de positivo para negativo e vice-versa.

Como a variação foi mínima, também foi feita a comparação direta com os dados do Solar Analyst em relação ao dados reais medidos do sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico e com os dados obtidos pelo software Radiasol2 (Tabela 7).

Tabela 7 – Dados médios de irradiação solar mensal e anual dado pelo Solar Analyst (SIG) em relação ao Piranômetro do Colégio Politécnico da UFSM e Radiasol2 com inclinação de 10°.

Mês	Solar Analyst I = 0° Desvio Azimutal 0°	Colégio Politécnico I = 10° Desvio Azimutal 7° L	Radiasol2 I = 10° Desvio Azimutal 7° L
Janeiro	5,6113 kWh/m ²	5,4904 kWh/m ²	6,3 kWh/m ²
Fevereiro	5,2101 kWh/m ²	5,6695 kWh/m ²	5,66 kWh/m ²
Março	4,6143 kWh/m ²	4,9809 kWh/m ²	5,11 kWh/m ²
Abril	3,736 kWh/m ²	4,6029 kWh/m ²	3,9 kWh/m ²
Mai	2,9485 kWh/m ²	4,0373 kWh/m ²	3,31 kWh/m ²
Junho	2,3853 kWh/m ²	2,8607 kWh/m ²	2,67 kWh/m ²
Julho	2,7872 kWh/m ²	2,9255 kWh/m ²	2,91 kWh/m ²
Agosto	3,4738 kWh/m ²	3,6765 kWh/m ²	3,53 kWh/m ²
Setembro	4,3232 kWh/m ²	3,8867 kWh/m ²	4,27 kWh/m ²
Outubro	5,0367 kWh/m ²	4,3896 kWh/m ²	5,18 kWh/m ²
Novembro	5,5518 kWh/m ²	4,5631 kWh/m ²	6,04 kWh/m ²
Dezembro	5,6845 kWh/m ²	5,3625 kWh/m ²	6,35 kWh/m ²
Média máx. anual	4,2801 kWh/m²	4,3707 kWh/m²	4,6025 kWh/m²
Diferença percentual	0	2,117%	7,533%

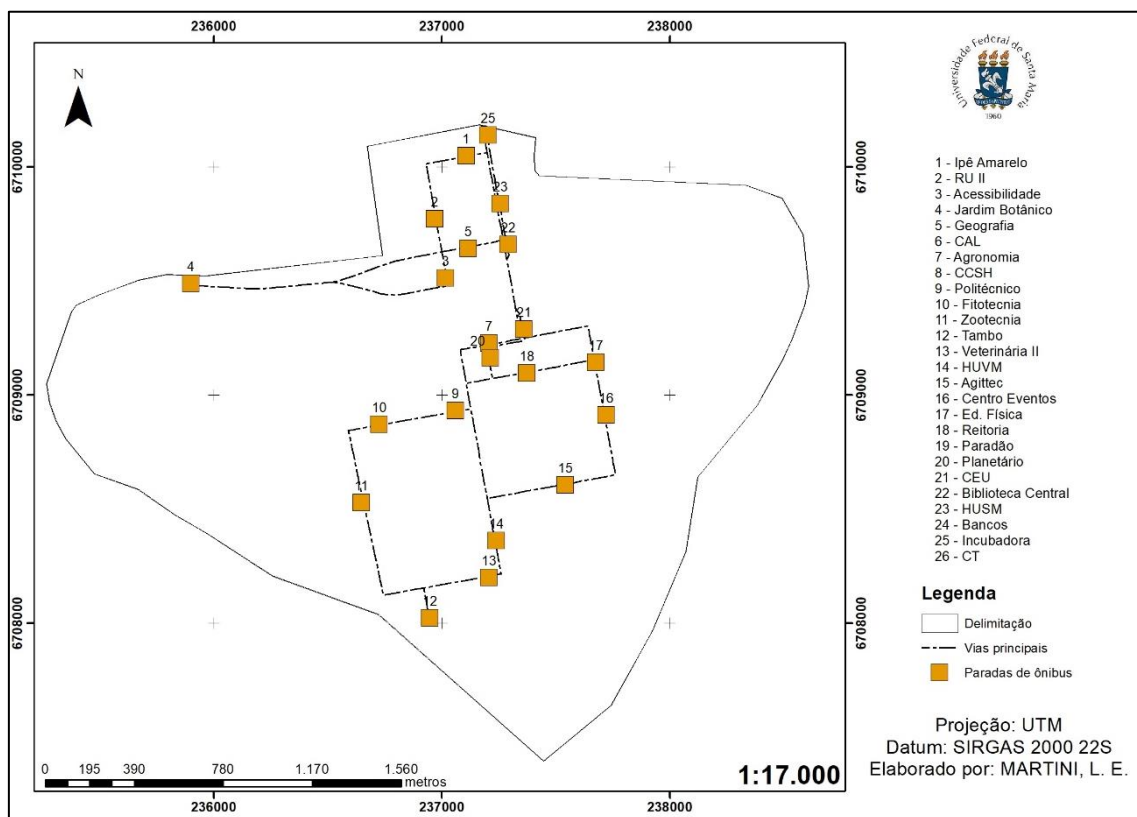
Fonte: Autora (2019).

Neste caso, os valores médios diários de irradiação solar anual resultantes foram muito próximos, com diferença percentual máxima de 7,533%. Por isso, foram adotados como válidos para continuidade da pesquisa.

4.4 PONTOS DE ÔNIBUS COM POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FV

Como forma de avaliação dos locais com ponto de ônibus para geração de energia por meio de geração fotovoltaica, inicialmente foi realizado um mapeamento de todas as paradas, totalizando 26 unidades dentro do campus conforme a Figura 57.

Figura 57 - Pontos de ônibus no campus UFSM.



Fonte: Autora (2019).

Os pontos de ônibus estão localizados na zona central dos limites do campus, sendo a área com maior concentração de edificações e atividades. Como nem todas as paradas possuem abrigo construído, foi convencionado a aplicação do projeto padrão do abrigo de ônibus do campus desenvolvido pela Proinfra/UFSM, que possui dimensão de 6,30 metros por 4,20 metros e altura de 2,72 metros. Exceto os pontos 19 (Paradão) e 23 (HUSM), que possuem modelo de abrigo exclusivo por ser terminal de acúmulo de passageiros.

Como os pontos de ônibus no campus estão com diferentes posicionamentos em relação ao norte geográfico, para avaliação do impacto nos níveis de irradiação disponíveis na cobertura das paradas de ônibus, foi realizado um comparativo do Solar Analyst com os dados no Radiasol2. Os valores de irradiação mensal gerados pelo Solar Analyst (SIG) são em inclinação 0° e desvio azimutal 0° , como os módulos fotovoltaicos na cobertura dos pontos de ônibus estarão com inclinação de 10° e

diferentes posições, podendo estar a norte, sul, leste ou oeste, foi desenvolvida a Tabela 8 para fins comparativos.

Tabela 8 – Comparativo e diferença percentual entre os dados mensais do *Solar Analyst* (SIG) e do *Radiasol2* com diferente inclinação e desvio azimutal.

Mês	Desvio azimutal 0° inclinação 0° SIG	Desvio azimutal 0° Inclinação 0° Radiasol2	Desvio azimutal 0° Inclinação 10° Radiasol2	Desvio azimutal 90° L Inclinação 10° Radiasol2	Desvio azimutal 90°O inclinação 10° Radiasol2	Desvio azimutal 180°L inclinação 10° Radiasol2
Janeiro	5,6113	6,31	6,31	6,29	6,31	6,29
Fevereiro	5,2101	5,56	5,67	5,54	5,51	5,38
Março	4,6143	4,82	5,12	4,79	4,8	4,48
Abril	3,736	3,56	3,92	3,53	3,55	3,13
Mai	2,9485	2,9	3,34	2,87	2,87	2,44
Junho	2,3853	2,29	2,67	2,28	2,3	1,87
Julho	2,7872	2,51	2,92	2,51	2,52	2,1
Agosto	3,4738	3,18	3,54	3,15	3,13	2,74
Setembro	4,3232	3,97	4,28	3,96	3,98	3,61
Outubro	5,0367	4,98	5,17	4,95	4,97	4,77
Novembro	5,5518	6	6,04	6,02	5,98	5,89
Dezembro	5,6845	6,41	6,36	6,42	6,41	6,43
Média	4,2802	4,3741	4,6116	4,3591	4,3608	4,0941
Diferença percentual	0	2,195%	7,744%	1,844%	1,883%	-4,347%

Fonte: Autora (2019).

Os dados de irradiação solar mensal com desvio azimutal 0° e inclinação 0° foram obtidos pelo *Solar Analyst* do ArcGIS (SIG), utilizados como base para obtenção do valor disponível na cobertura das paradas de ônibus mapeadas no software. Visto que no programa é possível obter o valor de irradiação em determinado ponto do mapa clicando no pixel, assim pelo impacto em altura do entorno natural e construído é capaz de se ter um valor ainda mais próximo do real.

Como os pontos de ônibus estão posicionados ora paralelo e ora perpendicular ao norte geográfico, os módulos fotovoltaicos estariam em algum momento com desvio azimutal a 0° (norte), e outros a 90°L (leste), 90°O (oeste) ou 180°L (sul). Além da inclinação 10° dos módulos, que acompanham a cobertura do modelo de abrigo.

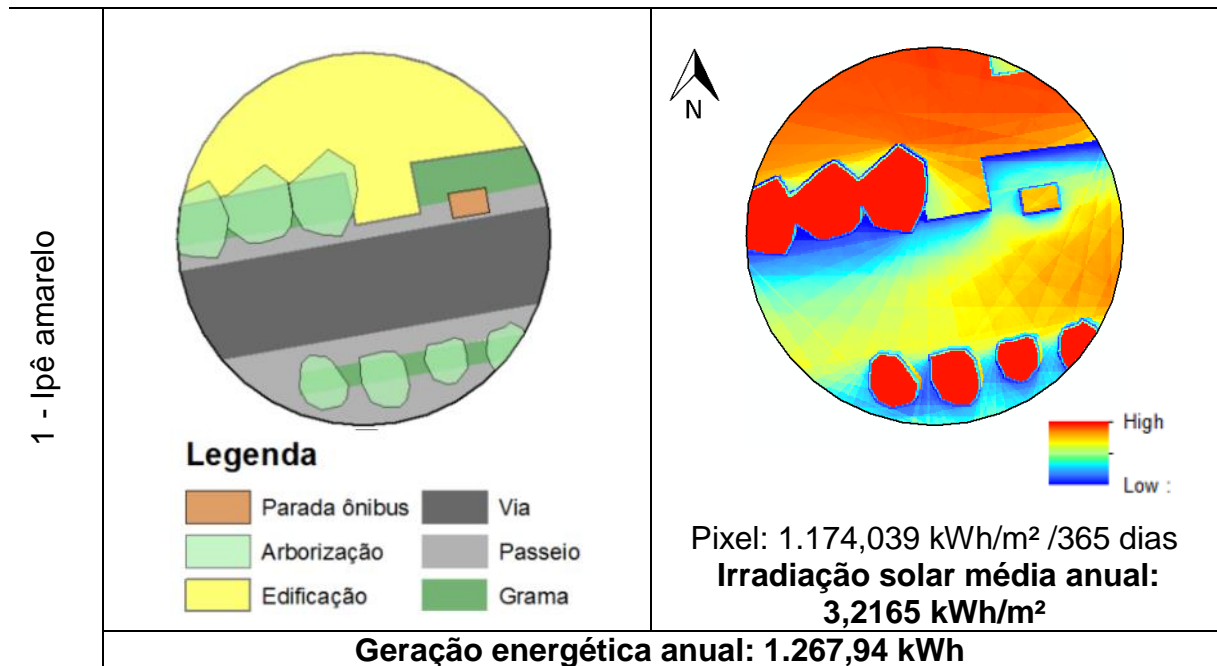
Desta forma, verificou-se que apesar das diferenças de posicionamento geográfico, os valores de médias mensais não apresentaram valores tão divergentes entre si. Considerando o SIG como neutro (zero), apresentando desvio azimutal 0° e inclinação 0° , comparou-se inicialmente com os dados obtidos pelo Radasol2 nas mesmas condições, o que resultou em uma diferença percentual de +2,195%. Posteriormente com inclinação de 10° e desvios azimutais de 0° , 90°L , 90°O e 180°L , que resultou em diferenças percentuais de +7,744%, -1,844%, -1,883% e -4,347%, respectivamente.

De acordo com Zomer, et al. (2017) os sistemas fotovoltaicos podem operar com alto desempenho, mesmo quando não instalados de acordo com o desvio azimutal ideal. Com a verificação, percebe-se a credibilidade dos dados obtidos no Solar Analyst (SIG), como os níveis de irradiação solar disponíveis na cobertura dos pontos de ônibus a partir do pixel no software, levando em consideração o impacto do entorno.

Assim, para aferir o comportamento solar anual nestes 26 pontos de ônibus existentes no campus da UFSM, ampliou-se cada uma destas paradas com raio de 30,00 metros e realizou-se um mapeamento de uso do solo. Neste mapeamento foi locado o abrigo de ônibus, arborizações e edificações, com as respectivas alturas, e os usos do solo, como via, passeio e grama. A partir deste mapeamento foi gerado o mapa dos níveis de irradiação solar disponíveis neste recorte urbano para o período de 1 ano (365 dias).

Na Tabela 9 está representado o ponto de ônibus 1, em frente a Unidade de Educação Infantil Ipê Amarelo.

Tabela 9 - Ponto ônibus 1: Ipê Amarelo.



Fonte: Autora (2019).

Este ponto de ônibus 1 está posicionado a poucos metros da edificação em paralelo ao norte geográfico. Desta forma, como a via está a sul, os módulos fotovoltaicos estariam voltados para o norte (desvio azimutal 0°) e inclinação 10°.

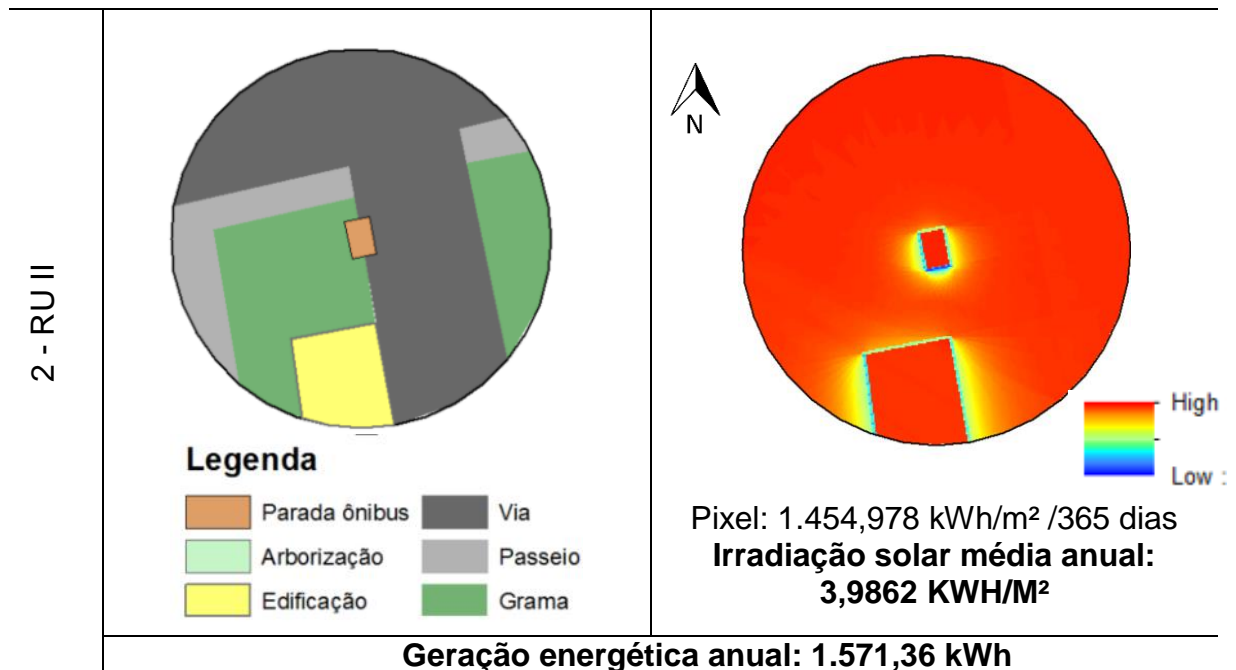
Como a edificação possui um pavimento, a altura não impacta com expressivo sombreamento na cobertura do abrigo. Os sombreamentos, que resultam baixos nível de irradiação (representado pela cor azul), aparecem no entorno imediato da edificação, ponto de ônibus e arborização. Os maiores níveis de irradiação (representado pelas cores vermelho e alaranjado) estão disponíveis no topo das arborizações, seguido pela cobertura da edificação e posteriormente cobertura do ponto de ônibus e solo exposto.

Assim, este ponto de ônibus 1 apresentou valor médio de irradiação anual de 3,2165 kWh/m², com a utilização de 5 módulos fotovoltaicos de 1,35 kWp de potência para geração de energia anual 1.267,94 kWh, obtida pela seguinte equação:

$$E = \frac{1,35 \cdot (3,2165 \cdot 365) \cdot 0,80}{1}$$

A Tabela 10 representa o ponto de ônibus 2, localizado perto do RU II.

Tabela 10 - Ponto ônibus 2: RU II.



Fonte: Autora (2019).

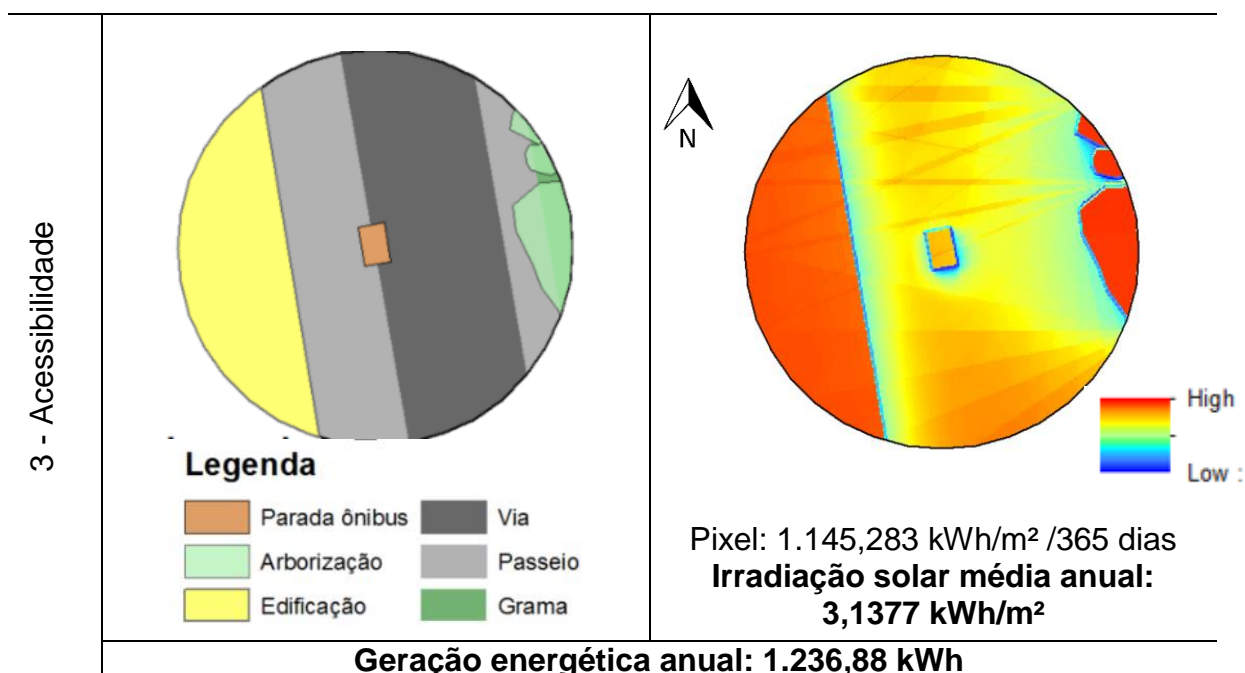
O ponto de ônibus 2 está locado perpendicularmente ao norte geográfico e de frente à via leste, assim o posicionamento dos módulos fotovoltaicos na cobertura do abrigo estão posicionados a oeste (-90°) e com inclinação de 10°.

Não há arborização e somente uma edificação no entorno imediato à parada de ônibus, e está posicionada a sul do abrigo. Com pouca sombra, os níveis de irradiação solar que atingem a cobertura do ponto de ônibus são elevados (cor vermelha), representado pelo valor de 3,9862 kWh/m² média anual.

Com a implantação dos 5 módulos fotovoltaicos de 0,27 kWp de potência, a geração anual média resultante é de 1571,36 kWh.

A Tabela 11 apresenta os dados referentes ao ponto de ônibus 3, localizado em frente ao prédio 67, denominado Núcleo de Acessibilidade e Apoio à Aprendizagem na Educação.

Tabela 11 – Ponto de ônibus 3: Acessibilidade.



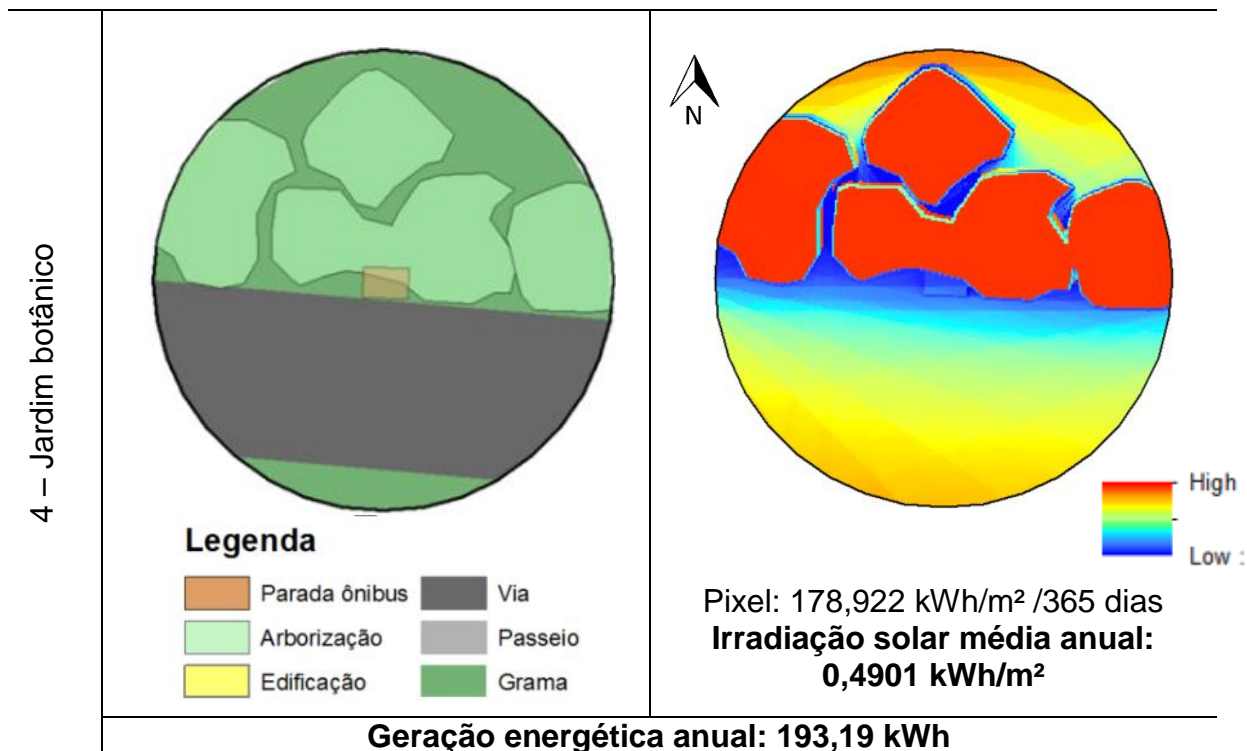
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 3 também locado de maneira perpendicular ao norte geográfico e de frente para via leste, assim os módulos fotovoltaicos estão com desvio azimutal -90° (oeste) e inclinação 10° .

No entorno do abrigo de ônibus há arborizações um pouco mais distantes a leste e uma edificação de um pavimento à oeste, de forma que estes itens não resultam em sombreamento no ponto de ônibus. Os maiores níveis de sombreamento estão no entorno dos itens em altura, como arborização, edificação e ponto de ônibus. Os maiores níveis de irradiação solar são no topo da edificação e arborização, sendo que na cobertura da parada de ônibus a irradiação média anual resultante foi de $3,1377 \text{ kWh/m}^2$. Assim, a geração média anual para este ponto com o sistema fotovoltaico é de $1.236,88 \text{ kWh}$.

A Tabela 12 apresenta as informações do ponto de ônibus 4, localizado em frente ao Jardim Botânico da UFSM.

Tabela 12- Ponto ônibus 4: Jardim Botânico.



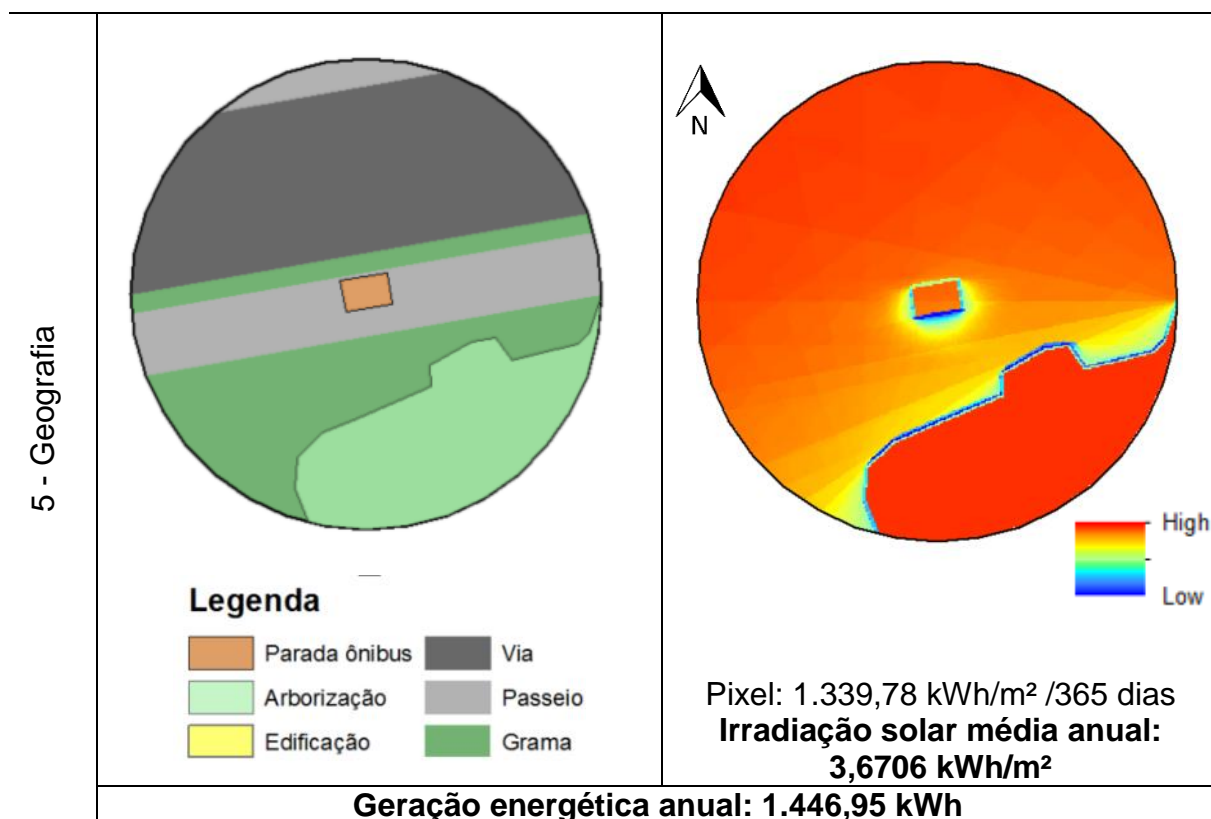
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 4 está locado paralelamente ao norte geográfico e com a via à sul, desta forma, os 5 módulos fotovoltaicos estariam posicionado à norte (0°) e com inclinação de 10°.

No entorno imediato ao abrigo de ônibus não há edificações, porém vegetações arbórea em altura, o que resulta em muito sombreamento. Percebe-se que toda a cobertura do ponto de ônibus está sombreada (representada pela cor azul), o que representa poucos níveis de irradiação solar chegando a esta superfície. Assim, a irradiação média mensal neste ponto seria de 0,4901 kWh/m², resultando em uma geração de energia anual de 193,19 kWh.

Na Tabela 13 está representada as informações referente ao ponto de ônibus 5, localizado em frente ao prédio 19, que atende o curso de Geografia.

Tabela 13 - Ponto ônibus 5: Geografia.



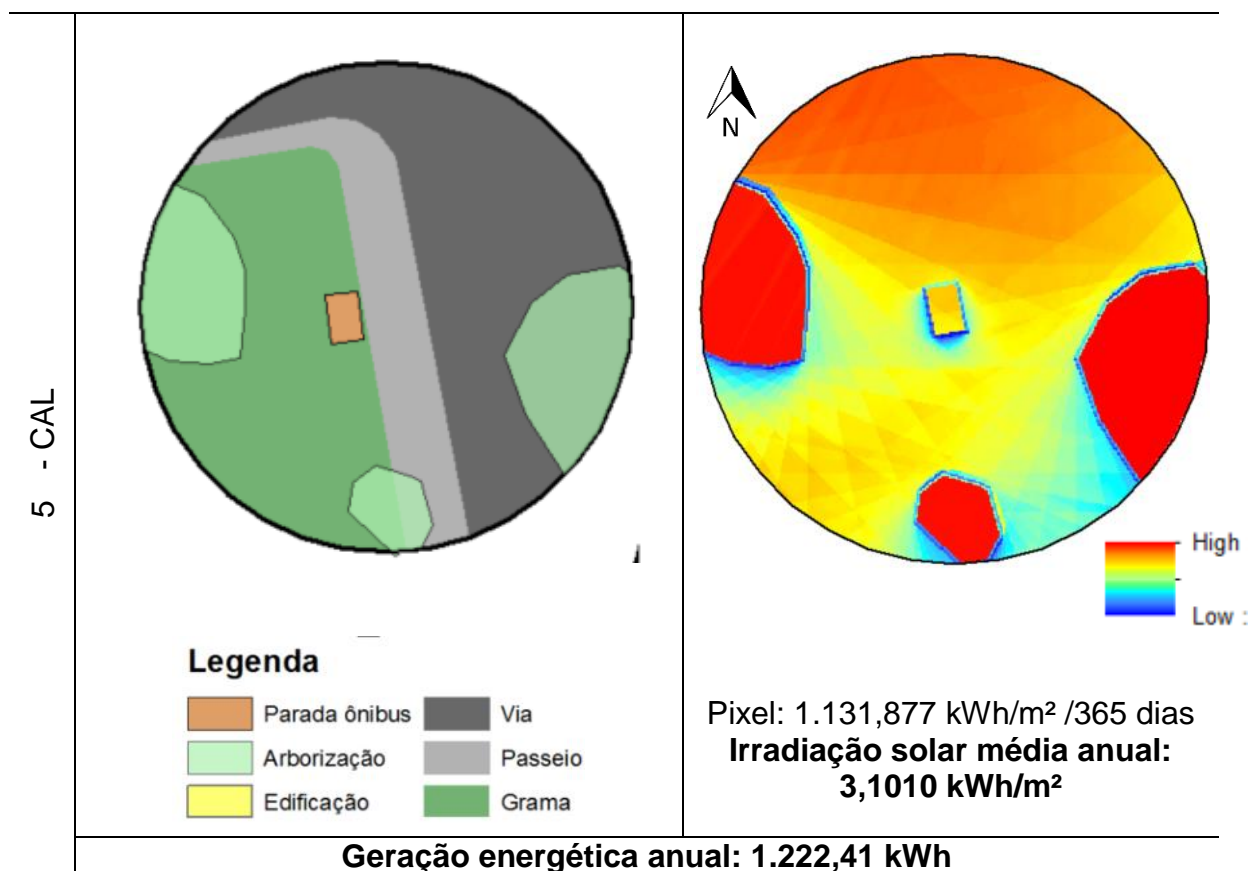
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 5 está localizado paralelo ao norte geográfico, como a via está a norte também, o posicionamento dos 5 módulos fotovoltaicos estariam com 10° de inclinação à sul (+180°). Não há edificação no entorno imediato ao abrigo, somente arborização, o que resulta em sombreamentos limitados.

Assim, o nível de irradiação médio mensal na cobertura do ponto é de 3,6706 kWh/m², possível gerar 1.446,95 kWh de energia anual.

A Tabela 14 demonstra o ponto de ônibus 6, em frente ao prédio 40, o Centro de Artes e Letras (CAL).

Tabela 14 - Ponto ônibus 6: CAL.



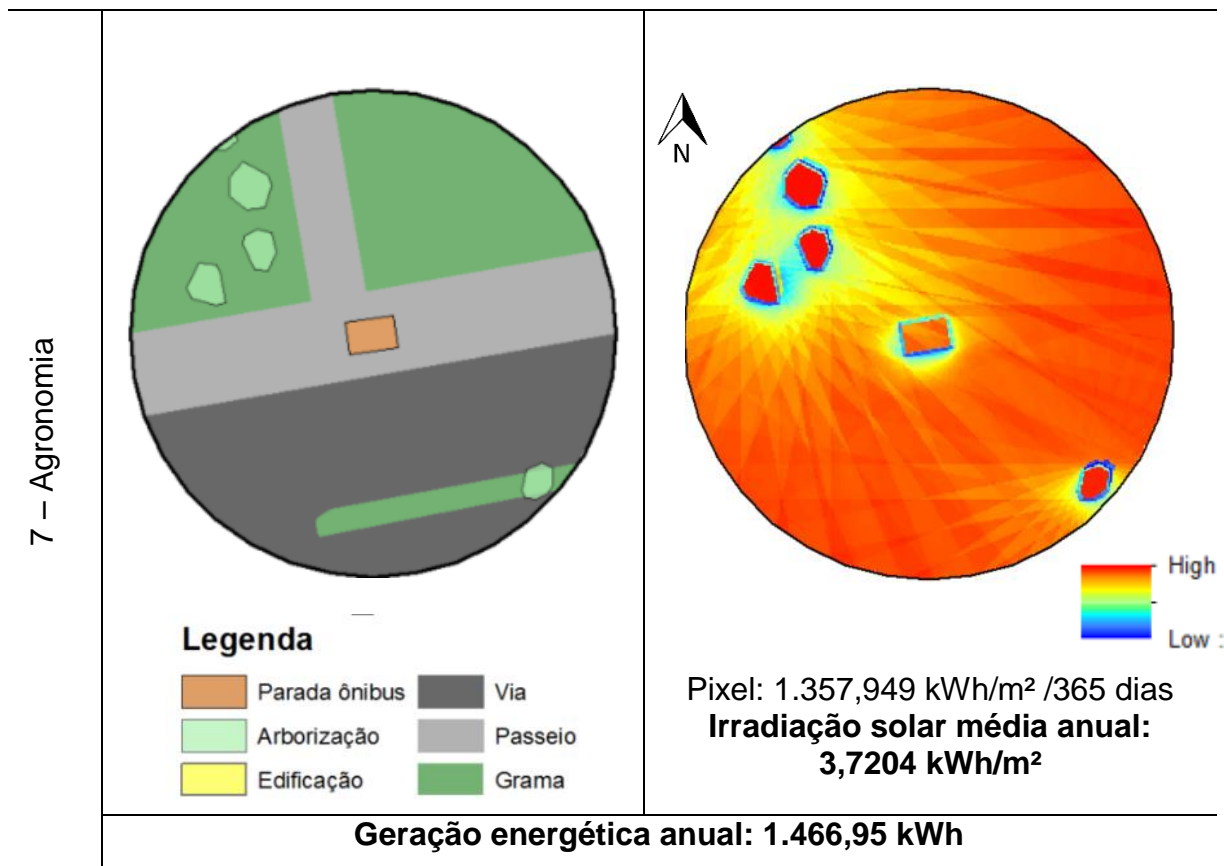
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 6 está perpendicular ao norte geográfico e com a via a leste, desta maneira, o posicionamento dos 5 módulos fotovoltaicos estariam com inclinação de 10° à oeste, ou seja, 90°O de desvio azimutal.

Não há edificações no entorno imediato do abrigo de ônibus, porém tem arborizações em altura, que acarretam algum sombreamento na cobertura da parada de ônibus no período de um ano. O nível de irradiação solar recebido na cobertura do ponto de ônibus é o valor médio anual de 3,1010 kWh/m², que pode gerar anualmente 1.222,41 kWh de energia.

A Tabela 15 apresenta as informações do ponto de ônibus 7, localizado em frente ao prédio 42, que atende os cursos de Ciências Rurais, como Agronomia.

Tabela 15 - Ponto ônibus 7: Agronomia.



Fonte: Autora (2019).

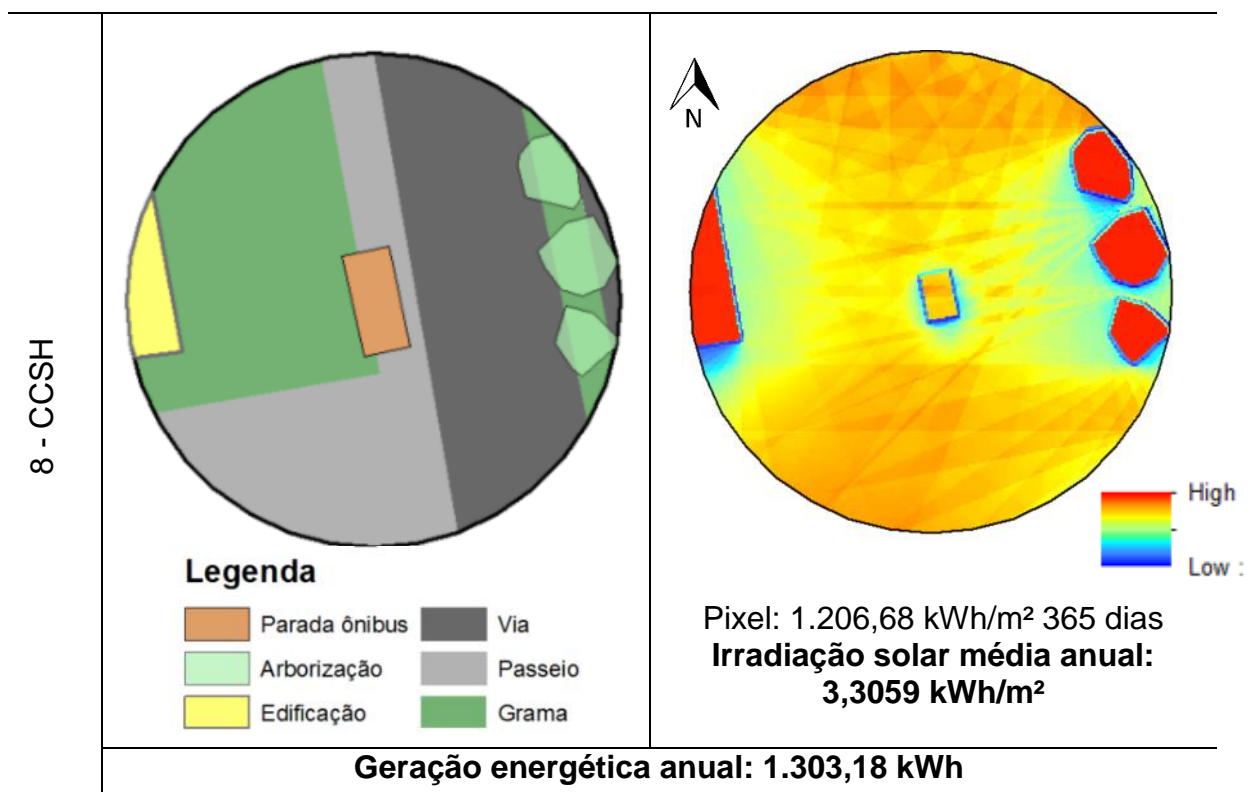
O ponto de ônibus 7 está localizado paralelo ao norte geográfico, como a via está posicionada ao sul do abrigo, os 5 módulos fotovoltaicos, de 0,27 kWp de potência cada, estariam dispostos com inclinação de 10° à norte (desvio azimutal 0°).

O entorno imediato ao abrigo não possui edificações, somente arborização, sendo que estas estão distantes, por isso não há sombreamento na cobertura da parada.

Este ponto de ônibus recebe uma média de irradiação anual de 3,7204 kWh/m², que possibilita a geração energética de 1.466,95 kWh em um período de um ano.

A Tabela 16 demonstra os dados sobre o ponto de ônibus 8, localizado em frente ao Centro de Ciências Sociais e Humanas, o CCSH. Sendo que neste ponto já foi construído o modelo padrão adotado pela Proinfra/UFSM.

Tabela 16 - Ponto ônibus 8: CCSH.



Fonte: Autora (2019).

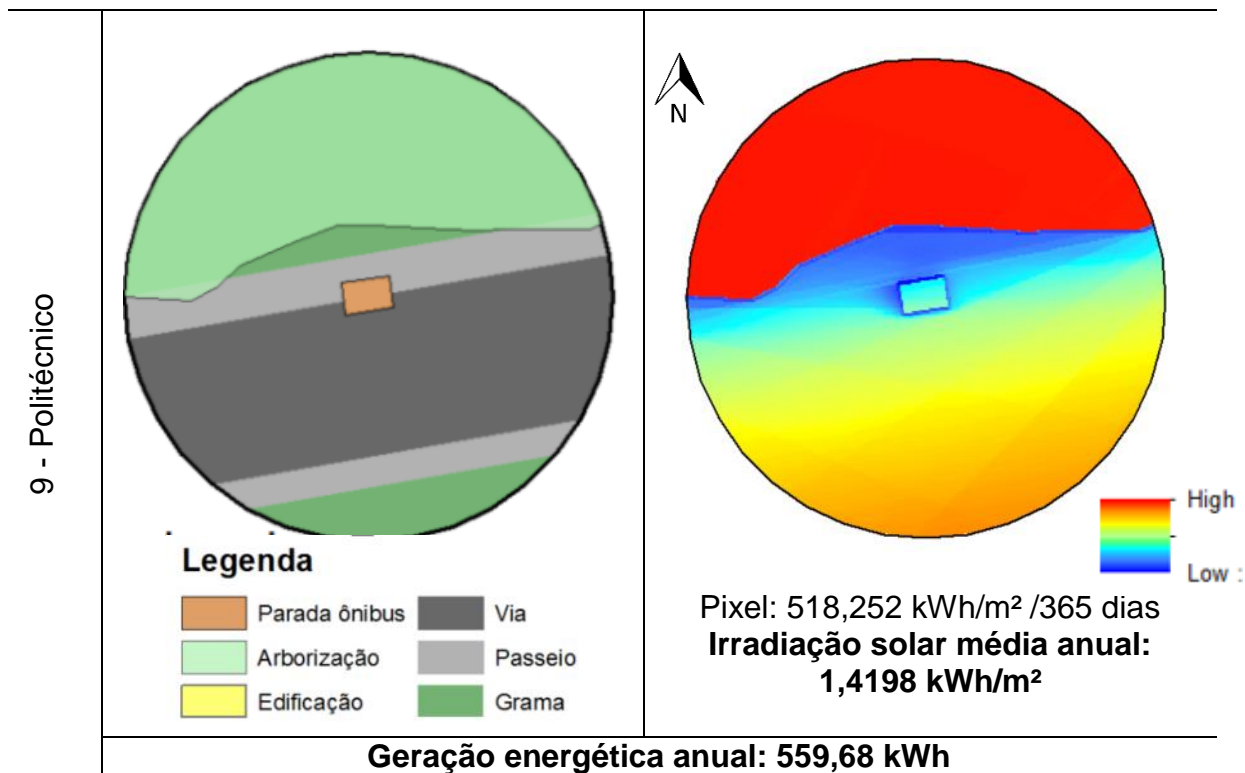
O ponto de ônibus 8 está localizado perpendicular ao norte geográfico, como a via está à leste do abrigo, os módulos fotovoltaicos com inclinação 10° estariam posicionados com desvio azimutal -90°, ou seja, a oeste.

No entorno do ponto de ônibus possui uma edificação de 4 pavimentos e algumas vegetações arbóreas, que resultam em sombreamento adjacente. Apesar disso, pela distância que há entre o abrigo e o entorno construído, em torno de 9,00 metros a direita e 7,00 metros a esquerda, não resulta em sombras no abrigo.

Assim, o valor média de irradiação solar anual resultante 3,3059 kWh/m², possibilitando a geração energética anual de 1.303,18 kWh.

A Tabela 17 apresenta as informações a respeito do ponto de ônibus 9, localizado em frente ao Colégio Politécnico da UFSM.

Tabela 17 - Ponto ônibus 9: Colégio Politécnico.

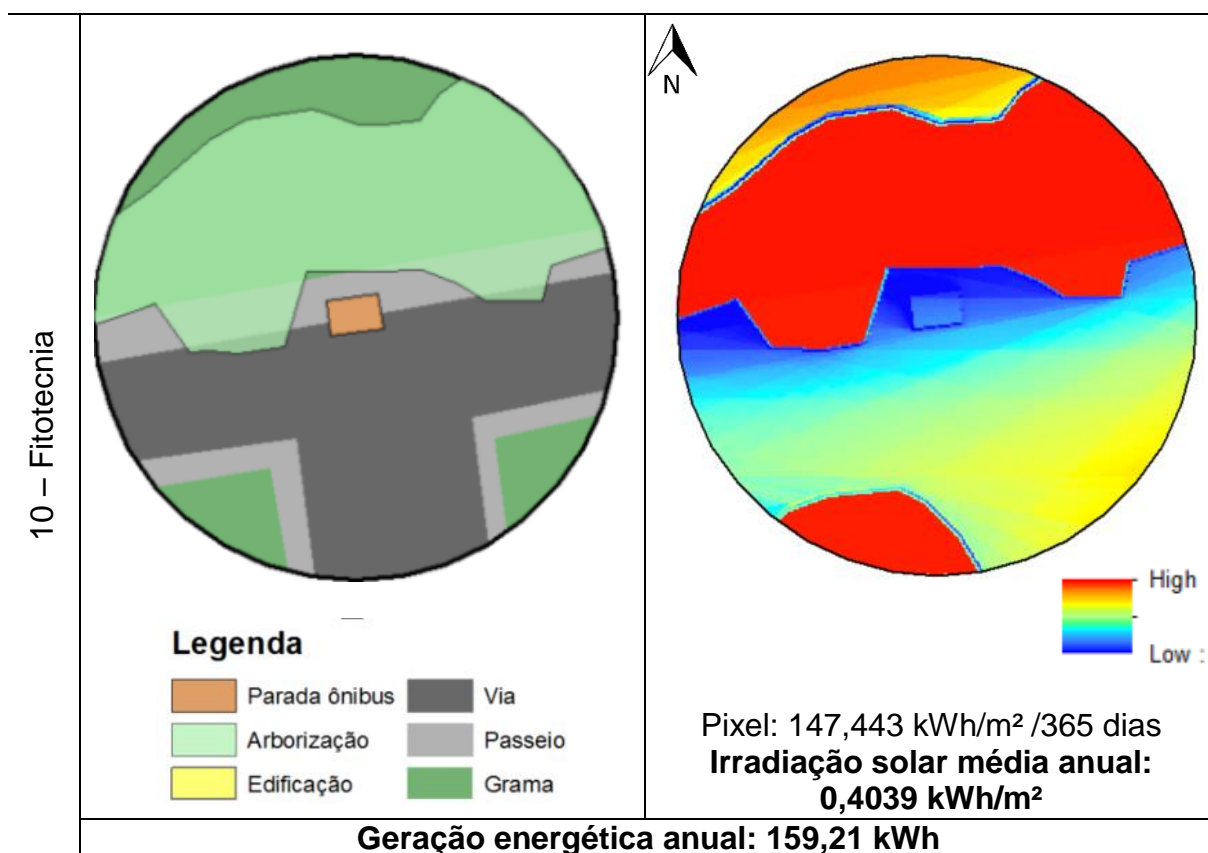


Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 9 está localizado paralelo ao norte geográfico e com a via posicionada à sul. Nos arredores desta parada há uma grande concentração de arborizações, principalmente no sentido norte, o que resultou muito sombreamento em sua cobertura. Desta forma, os níveis de irradiação solar neste ponto resultou em média anual de 1,4198 kWh/m², podendo gerar anualmente o equivalente a 559,68 kWh de energia.

A Tabela 18 demonstra o comportamento da irradiação solar no ponto de ônibus 10, localizado em frente ao prédio de Fitotecnia.

Tabela 18 - Ponto ônibus 10: Fitotecnia.



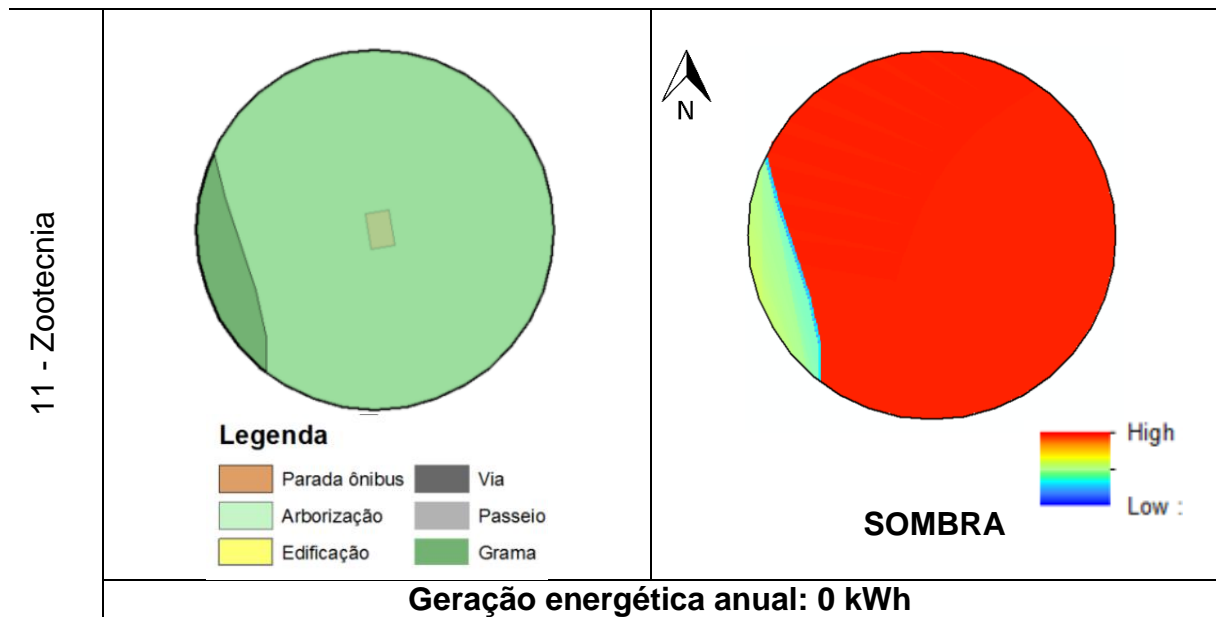
Fonte: Autora (2019).

Este ponto de ônibus possui as mesmas características da apresentada anterior, em frente ao Colégio Politécnico, visto que ambas estão localizadas na mesma rua, que possui uma sequência de maciços arbóreos.

Com isso, percebe-se um trecho com muito sombreamento, o que resulta em níveis de irradiação solar muito baixos na cobertura do abrigo. O que resultou em um valor de irradiação solar anual de 0,4039 kWh/m², que poderia gerar somente 159,21 kWh de energia elétrica no período de um ano.

A Tabela 19 apresenta o comportamento da irradiação solar no ponto de ônibus 11, localizado na zona destinada aos estudos de Zootecnia.

Tabela 19 - Ponto ônibus 11: Zootecnia.

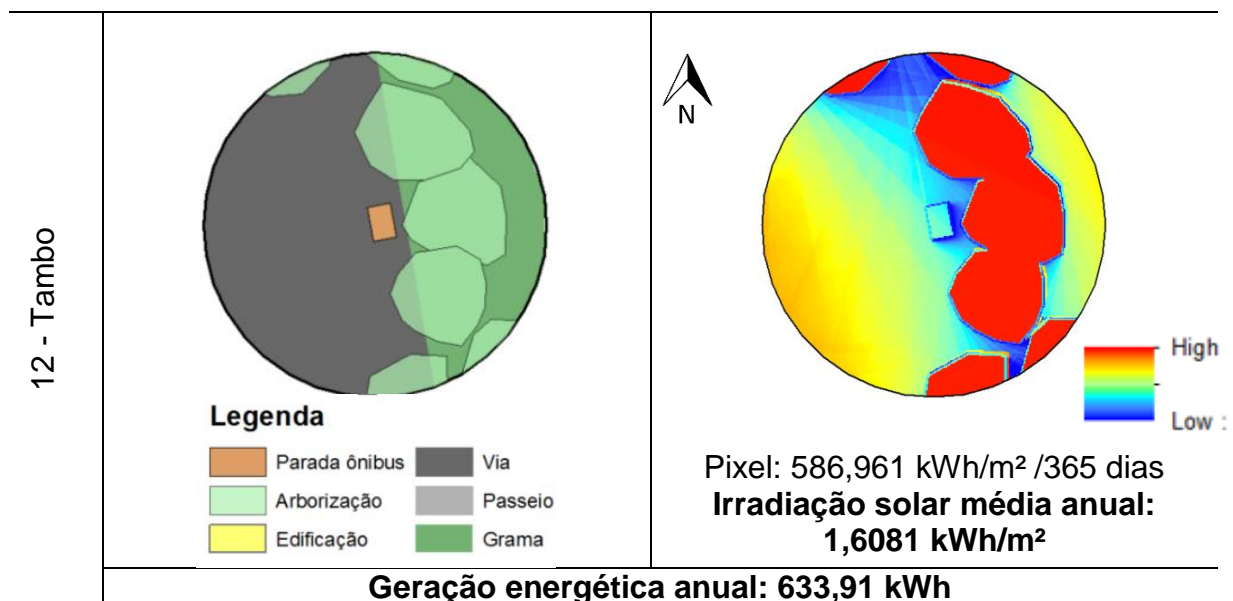


Fonte: Autora (2019).

Como nesta região há um corredor de vegetação arbórea muito denso, que resulta em acesso quase nulo de irradiação solar, foi considerado sombra total. Assim, não há possibilidade de geração de energia elétrica por tecnologia solar fotovoltaica.

A Tabela 20 representa o ponto de ônibus 12, localizado na zona industrial da UFSM, denominada como Tambo.

Tabela 20 - Ponto ônibus 12: Tambo.



Fonte: Autora (2019).

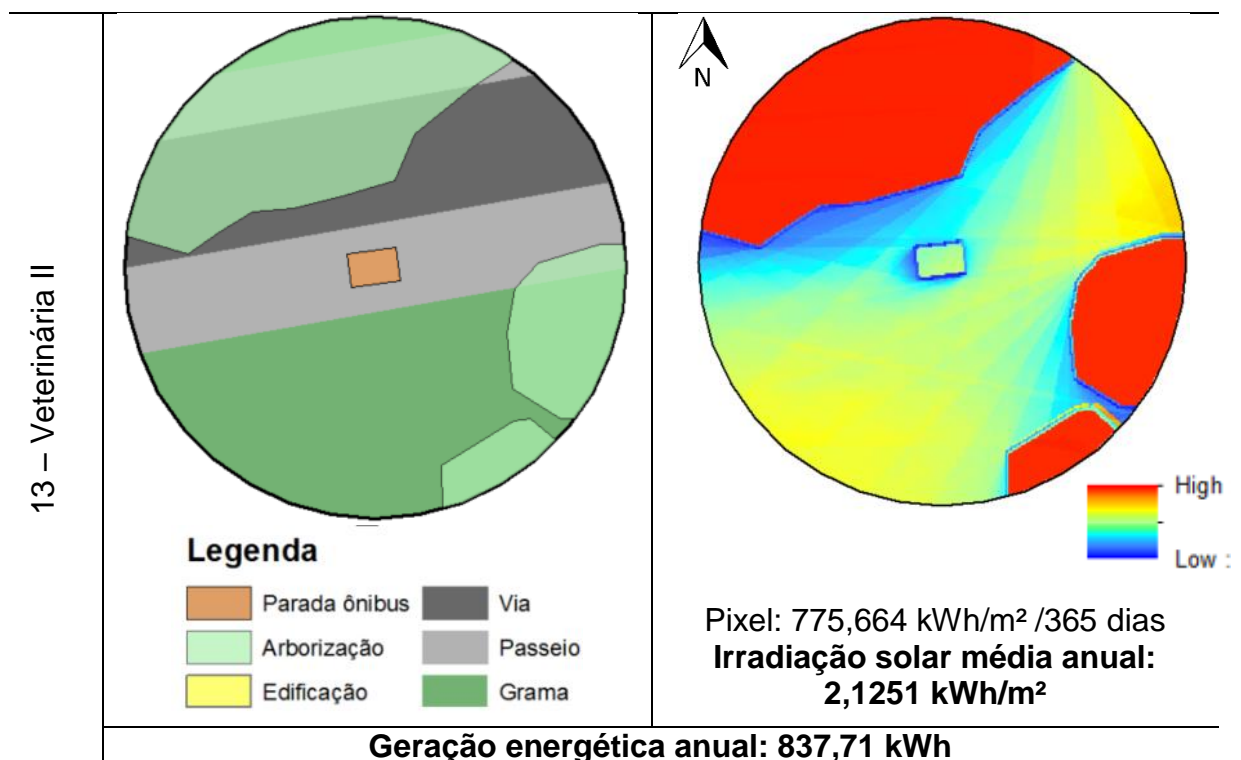
O ponto de ônibus 12 está locado de maneira perpendicular ao norte geográfico e com a via posicionada a oeste. Assim, os módulos fotovoltaicos estariam posicionados com inclinação 10° e desvio azimutal $+90^\circ$ (leste).

Porém, como há maciços vegetativos no entorno do abrigo, resultou em bastante sombreamento na cobertura deste ponto de ônibus. Sendo que os maiores níveis de irradiação estão disponíveis na copa das árvores, que funciona como uma barreira dos raios solares.

Assim, no período de um ano, os valores médios de irradiação solar resultante foi $1,6081 \text{ kWh/m}^2$, possibilitando gerar somente $633,91 \text{ kWh}$ de energia elétrica anualmente.

A Tabela 21 apresenta as informações a respeito do ponto de ônibus 13, localizado no setor pertencente ao curso de Veterinária.

Tabela 21 - Ponto ônibus 13: Veterinária II.



Fonte: Autora (2019).

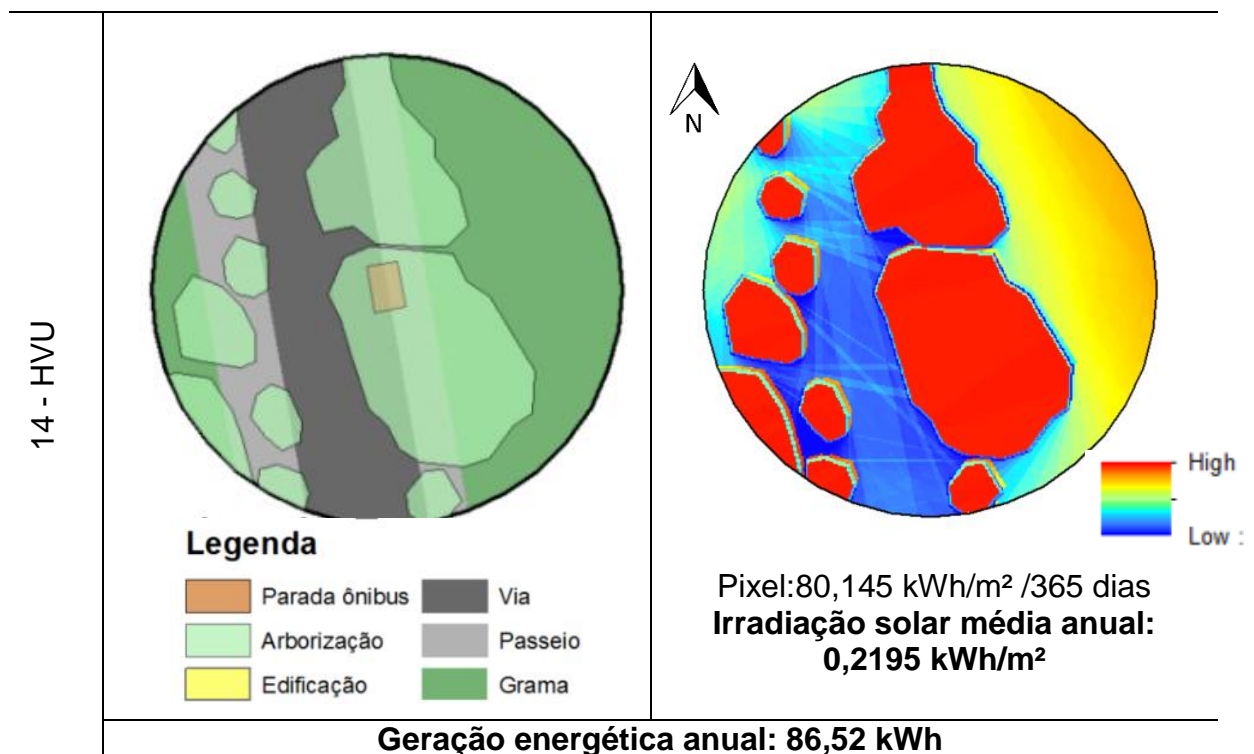
Este ponto de ônibus 13 está paralelo ao norte geográfico e com a via a norte, assim, os módulos fotovoltaicos estariam posicionados à sul (desvio azimutal de $+180^\circ$).

Nesta zona o abrigo é muito impactado pela altura das arborizações adjacentes, que resultam em bloqueio parcial dos raios solares na cobertura do abrigo. Percebe-se que os maiores níveis de irradiação recebidos estão no topo das arborizações, enquanto que no topo da parada o recebimento solar é inferior, o que podemos perceber pela escala de cores.

Assim, a os níveis de irradiação solar que chegam a superfície do ponto é uma média anual de 2,1251 kWh/m², o que possibilita a geração energética anual de 837,71 kWh.

A Tabela 22 representa o ponto de ônibus 14, localizado em frente ao Hospital Veterinário Universitário, conhecido como HVU.

Tabela 22 - Ponto ônibus 14: HVU.



Fonte: Autora (2019).

Neste ponto de ônibus 21, o modelo de abrigo padrão da Proinfra/UFSM está paralelo ao norte geográfico e com a via posicionada à oeste. Desta forma, os módulos fotovoltaicos estariam locados a leste (+90°L).

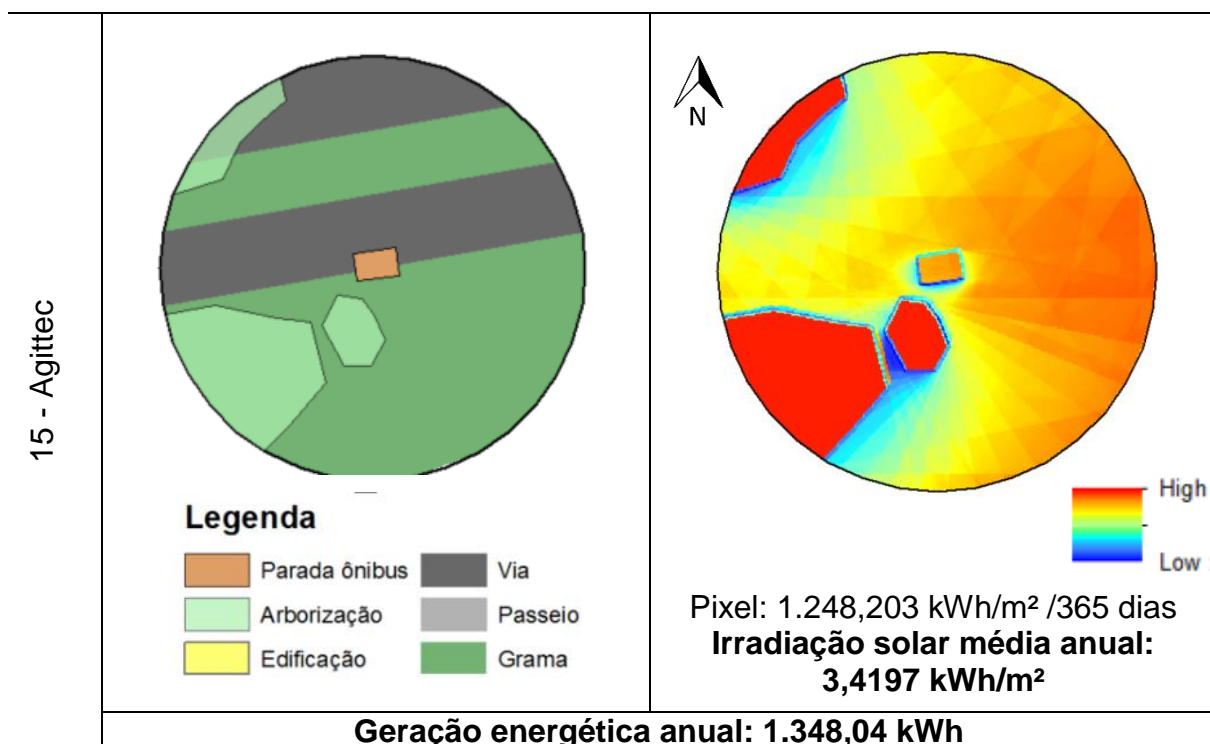
Nesta zona há uma grande concentração de vegetação arbórea, o que resulta em barreiras dos raios solares. Pela proximidade entre os maciços à leste e oeste, o

centro da via resulta em altos níveis de sombreamento, enquanto os maiores níveis de irradiação ficam concentrados nas copas das árvores.

Devido a isso, o ponto de ônibus recebe valores mínimos de irradiação solar em sua cobertura, resultando um valor médio mensal de 0,2195 kWh/m², que pode gerar anualmente 86,52 kWh de energia elétrica.

A Tabela 23 apresenta os dados a respeito do ponto de ônibus 15, localizado próximo a Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia, o Agittec.

Tabela 23 - Ponto ônibus 15: Agittec.



Fonte: Autora (2019).

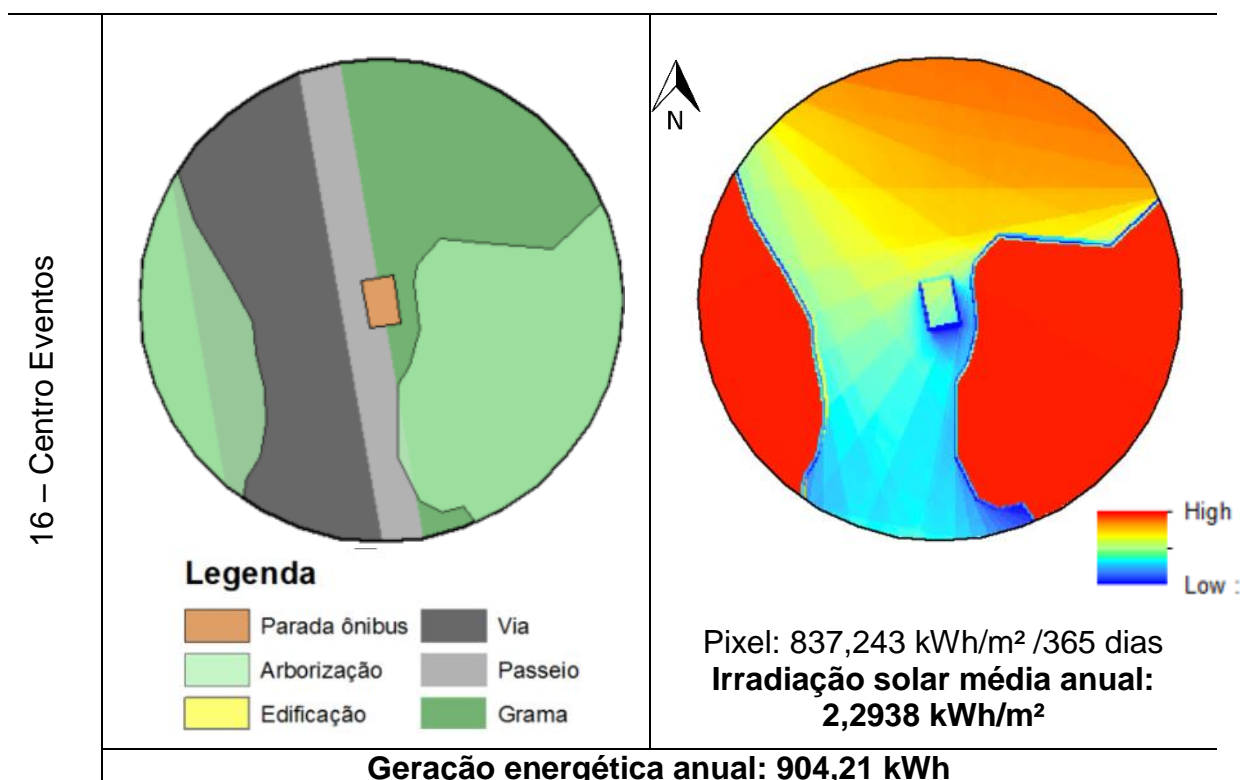
O ponto de ônibus 15 está posicionado paralelo ao norte geográfico e com a via também à norte, desta forma os 5 módulos fotovoltaicos na cobertura do abrigo ficariam com inclinação 10° Sul, ou seja, desvio azimutal de +180°L.

No entorno desta parada há alguns maciços vegetativos em altura, porém devido ao seu posicionamento não configuram barreiras efetivas aos raios solares. Visto que as árvores adjacentes estão à sul da parada, o que não resulta em sombra no abrigo, além da arborização à norte estar mais distantes (em torno de 10,00 metros).

Desta forma, a cobertura deste ponto de ônibus estaria apta a receber uma média mensal de irradiação solar de 3,4197 kWh/m², podendo gerar anualmente 1.348,04 kWh de energia elétrica.

A Tabela 24 apresenta as informações a respeito do ponto de ônibus 16, localizado um pouco antes do pórtico de acesso ao Centro de Eventos da UFSM.

Tabela 24 - Ponto ônibus 16: Centro de Eventos.



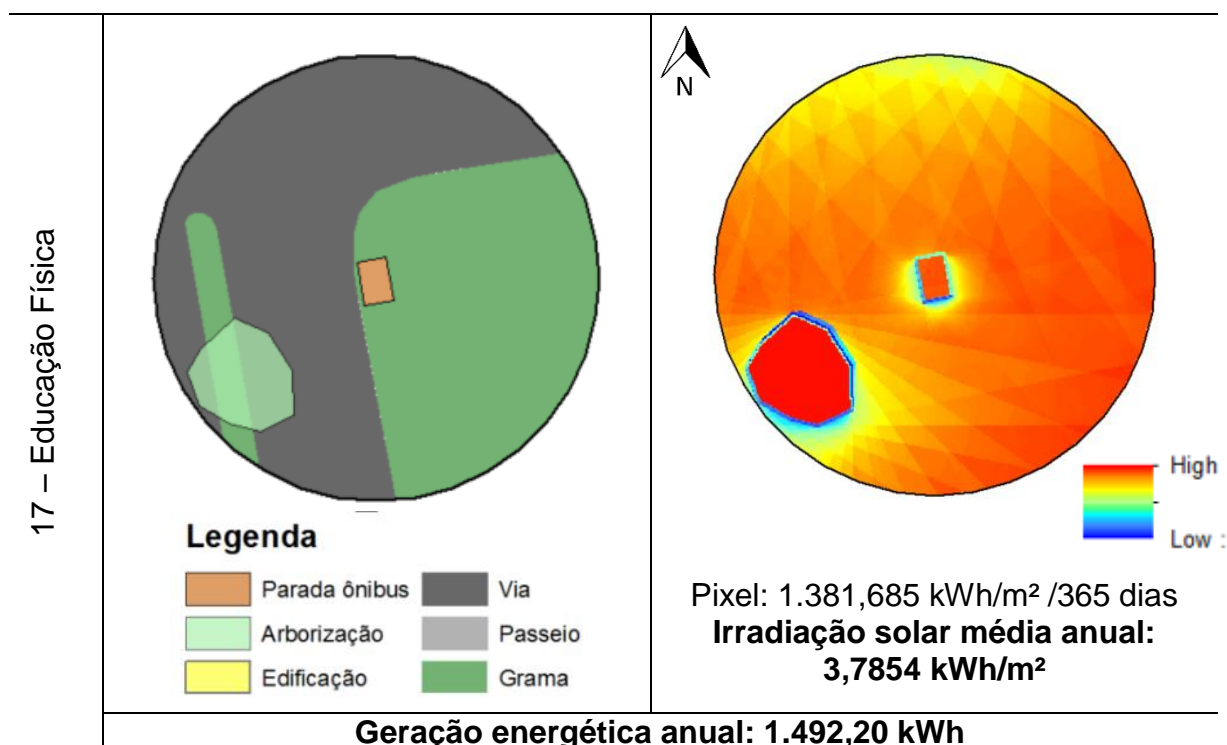
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 16 está posicionado perpendicular ao norte geográfico, e com a via localizada à oeste. Assim, os módulos fotovoltaicos estariam posicionados à leste (+90°).

No entorno imediato ao abrigo há maciços vegetativos em altura no sentido leste e oeste e distantes 5,00 metros entre si, o que impacta em barreiras aos raios solares e uma zona central com muito sombreamento. Assim, a cobertura do abrigo recebe uma média anual de irradiação solar de 2,2938 kWh/m², que poderia gerar 904,21 kWh de energia elétrica anualmente.

A Tabela 25 representa o ponto de ônibus 17, localizado próximo ao complexo do curso de Educação Física da UFSM.

Tabela 25 - Ponto ônibus 17: Educação Física.



Fonte: Autora (2019).

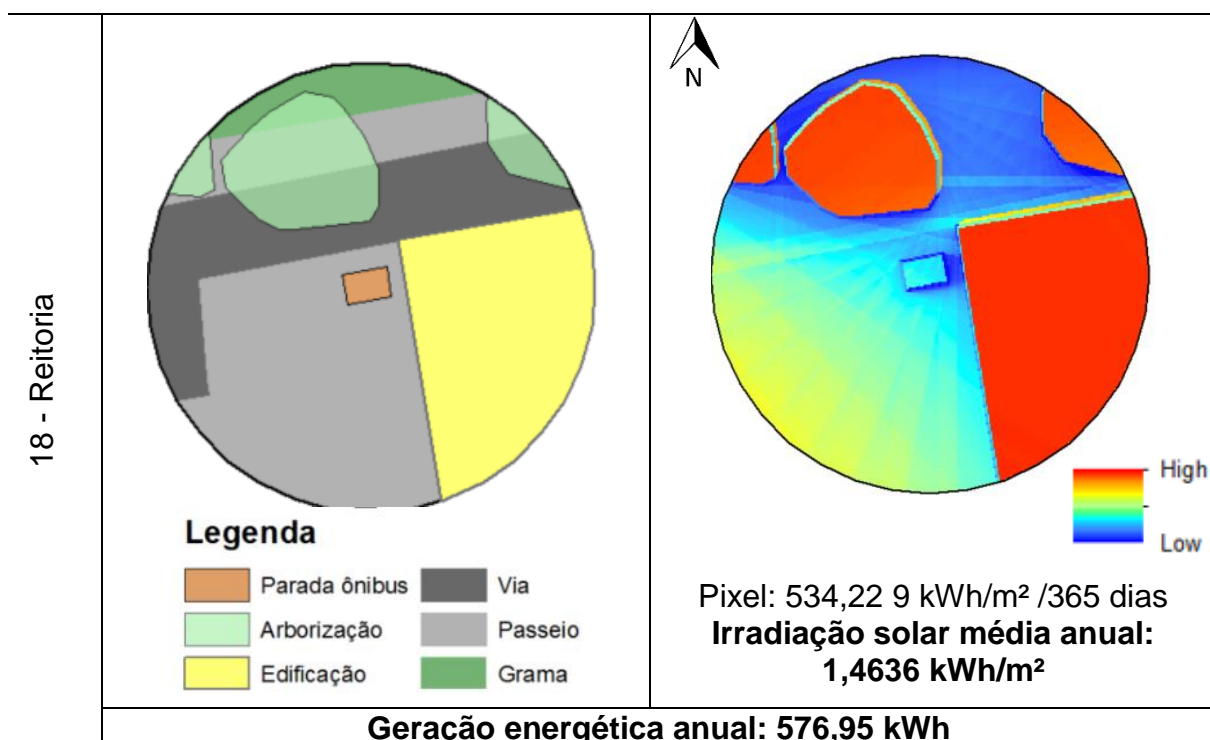
O ponto de ônibus 17 está localizado perpendicular ao norte geográfico, por estar quase em uma esquina, possui vias à norte e leste. Assim o posicionamento dos 5 módulos fotovoltaicos de 0,27 kWp cada estariam posicionado a leste (+90°).

No entorno deste abrigo percebe-se poucas barreiras em altura, somente uma arborização, distante 7,00 metros à sudoeste, o que não resulta em sombreamento na parada de ônibus.

Desta forma, os níveis de irradiação disponíveis na cobertura do ponto de ônibus resultaram em um valor médio anual de 3,7854 kWh/m², que possibilita uma geração anual de energia elétrica de 1.492,20 kWh por meio de efeito solar fotovoltaico.

A Tabela 26 apresenta as informações a respeito do ponto de ônibus 18, localizado em frente ao prédio da Reitoria.

Tabela 26 - Ponto ônibus 18: Reitoria.



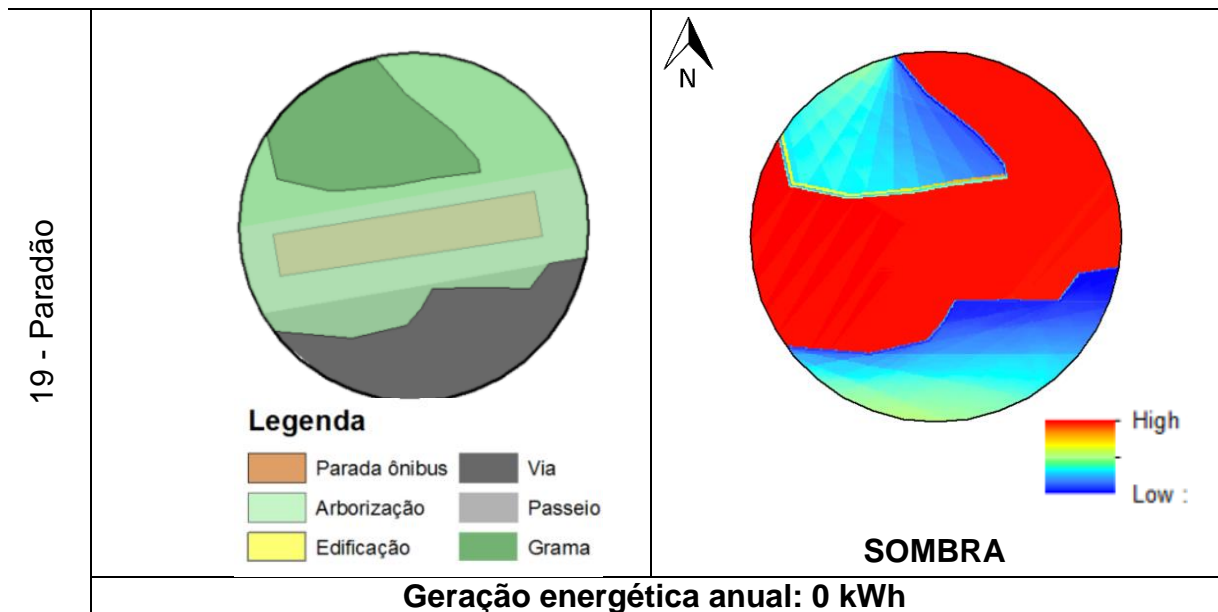
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus em frente ao prédio da Reitoria da UFSM está localizado paralelo ao norte geográfico, com a via posicionada a norte também. Percebe-se que este abrigo sofre muito impacto do entorno imediato em relação a sombreamento, devido à grande estatura da edificação adjacente, que possui 10 pavimentos, além das arborizações.

A configuração urbana deste ponto resulta em um cânion urbano, devido à altura do entorno natural e construído. Assim, os raios solares são em parte bloqueados, com níveis de irradiação solar médio anual de 1,4636 kWh/m², o que possibilita a geração de 576,95 kWh de energia elétrica anualmente.

A Tabela 27 representa os ponto de ônibus 19, conhecido como Paradão, visto que é o terminal de onde partem os ônibus de linhas intramunicipais. Este abrigo construído possui dimensões específicas, pois atende uma maior demanda de transporte público.

Tabela 27 - Ponto ônibus 19: Parádão.

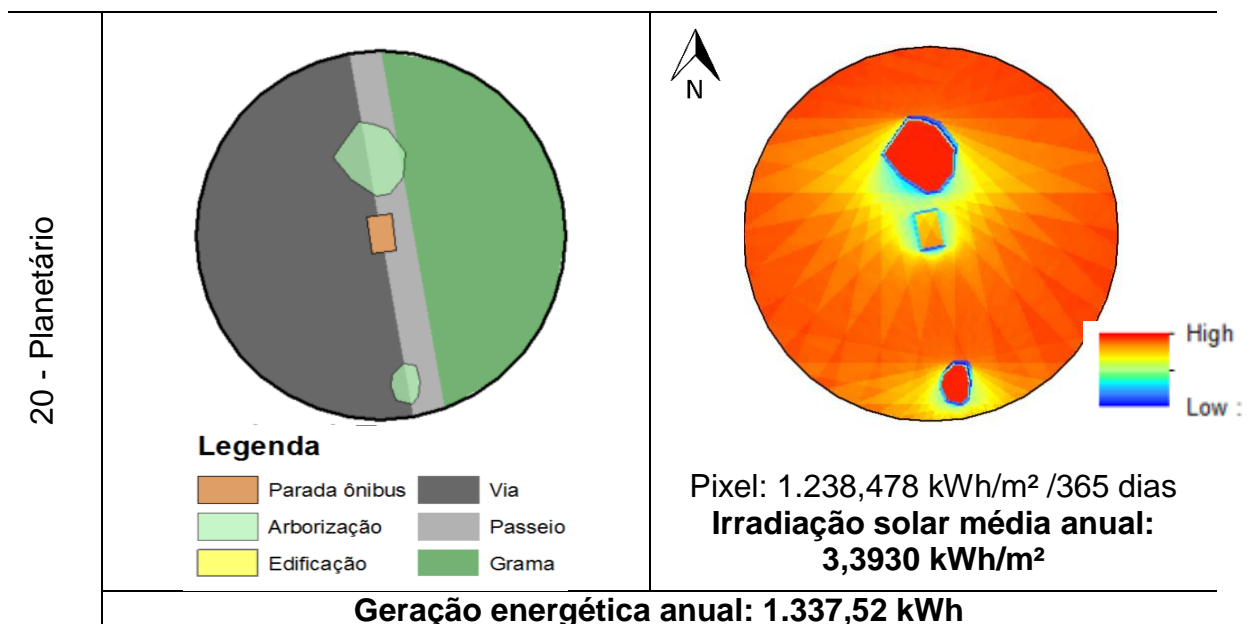


Fonte: Autora (2019).

Neste ponto há vegetação arbórea densa, que resulta em bloqueio dos raios solares solar, conseqüentemente em sombra. Assim, não se pode gerar energia elétrica por tecnologia solar fotovoltaica.

A Tabela 28 apresenta as informações a respeito do ponto de ônibus 20, localizado em frente ao Planetário.

Tabela 28 - Ponto ônibus 20: Planetário.



Fonte: Autora (2019).

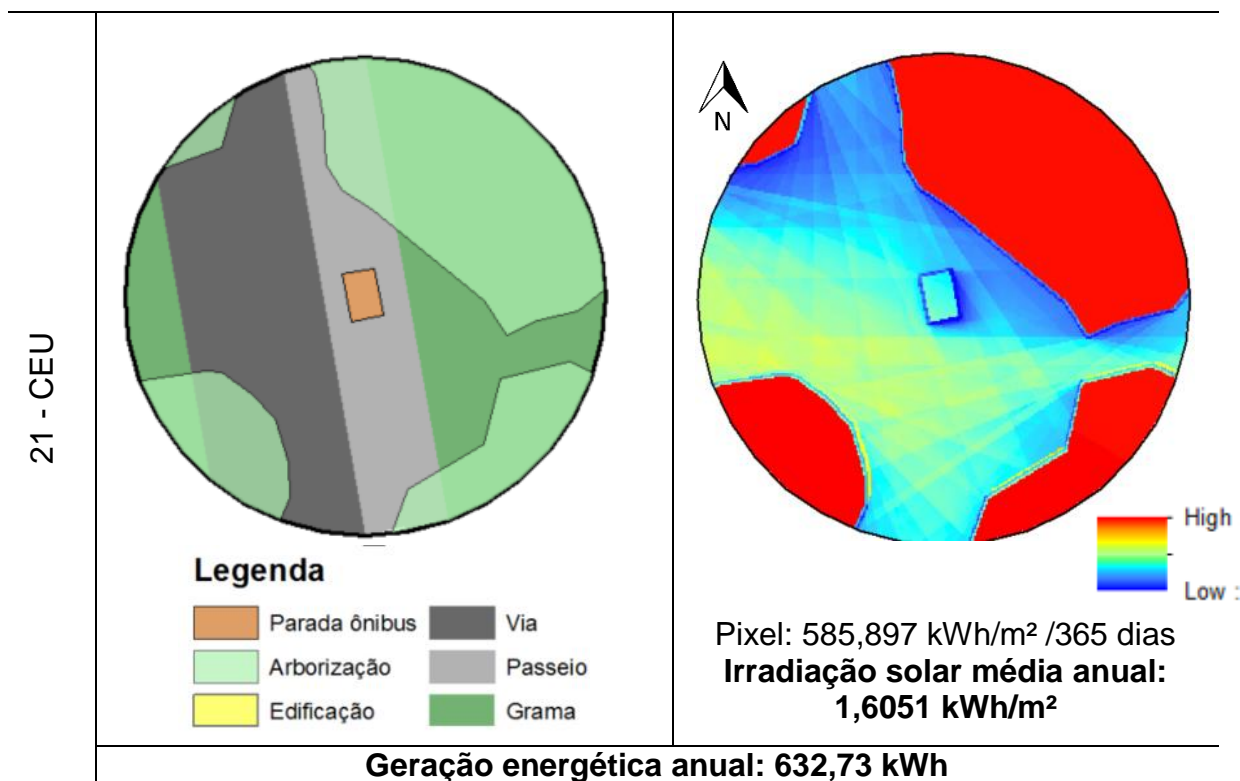
O ponto de ônibus 20 está localizado perpendicular ao norte geográfico, como a via está a oeste, o sistema fotovoltaico estaria com inclinação de 10° e desvio azimutal $+90^\circ$ (leste).

O entorno deste abrigo apresenta espaços livres, tendo poucas vegetações arbóreas em altura, o que não resulta em barreiras significativas aos raios solares na cobertura da parada de ônibus.

Assim, a média de irradiação solar anual disponível na cobertura deste ponto de ônibus é $3,3930 \text{ kWh/m}^2$, que possibilita a geração de $1.337,52 \text{ kWh}$ de energia elétrica em um período de um ano.

A Tabela 29 expõe as informações referentes ao ponto de ônibus 21, localizado em frente à Casa Estudantil Universitária, o CEU.

Tabela 29 - Ponto ônibus 21: CEU.



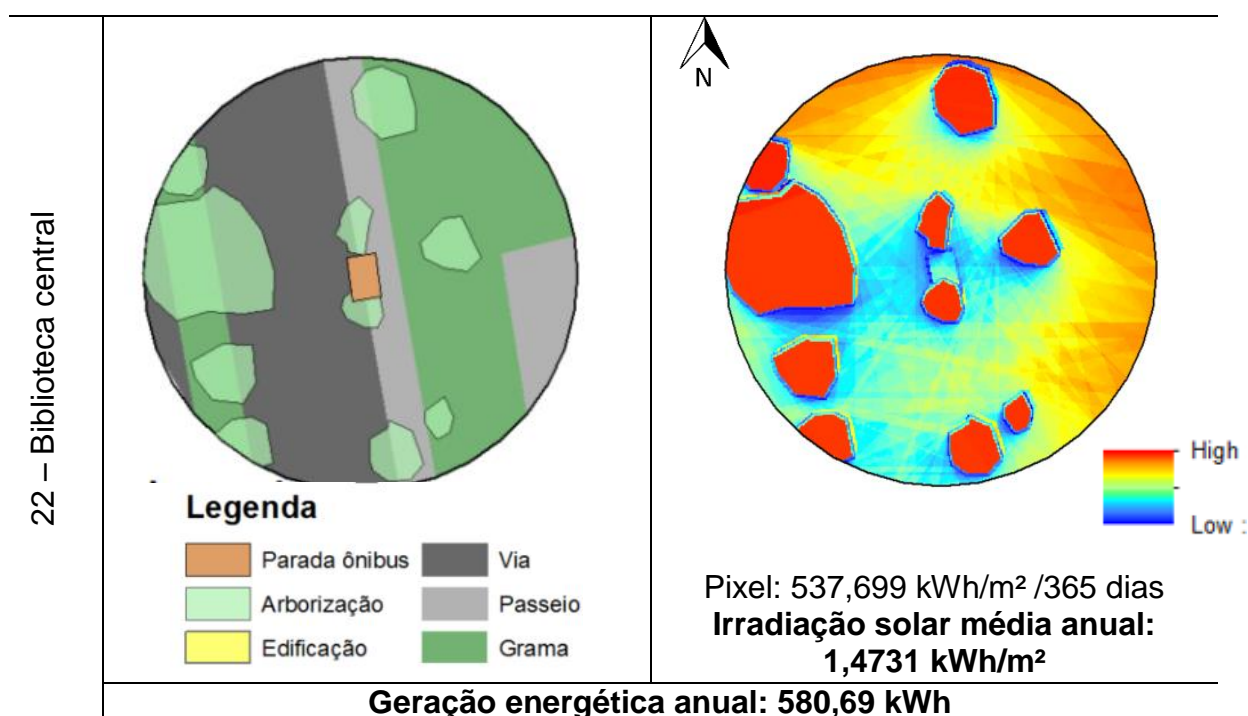
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 21 possui configuração perpendicular ao norte geográfico e com a via localizada a oeste do abrigo, assim os módulos fotovoltaicos estariam organizado na posição leste, com desvio azimutal de $+90^\circ$ L.

Nota-se que no entorno imediato a parada possui vegetação arbórea em altura em todos coordenadas geográficas, o que resulta em sombreamento em todos os períodos do ano. Assim, o valor de irradiação solar média anual na cobertura deste ponto de ônibus é de 1,6051 kWh/m², que possibilita a geração energética anual de 632,73 kWh.

A Tabela 30 apresenta as informações referente ao ponto de ônibus 22, localizado em frente ao prédio da Biblioteca Central.

Tabela 30 - Ponto ônibus 22: Biblioteca Central.



Fonte: Autora (2019).

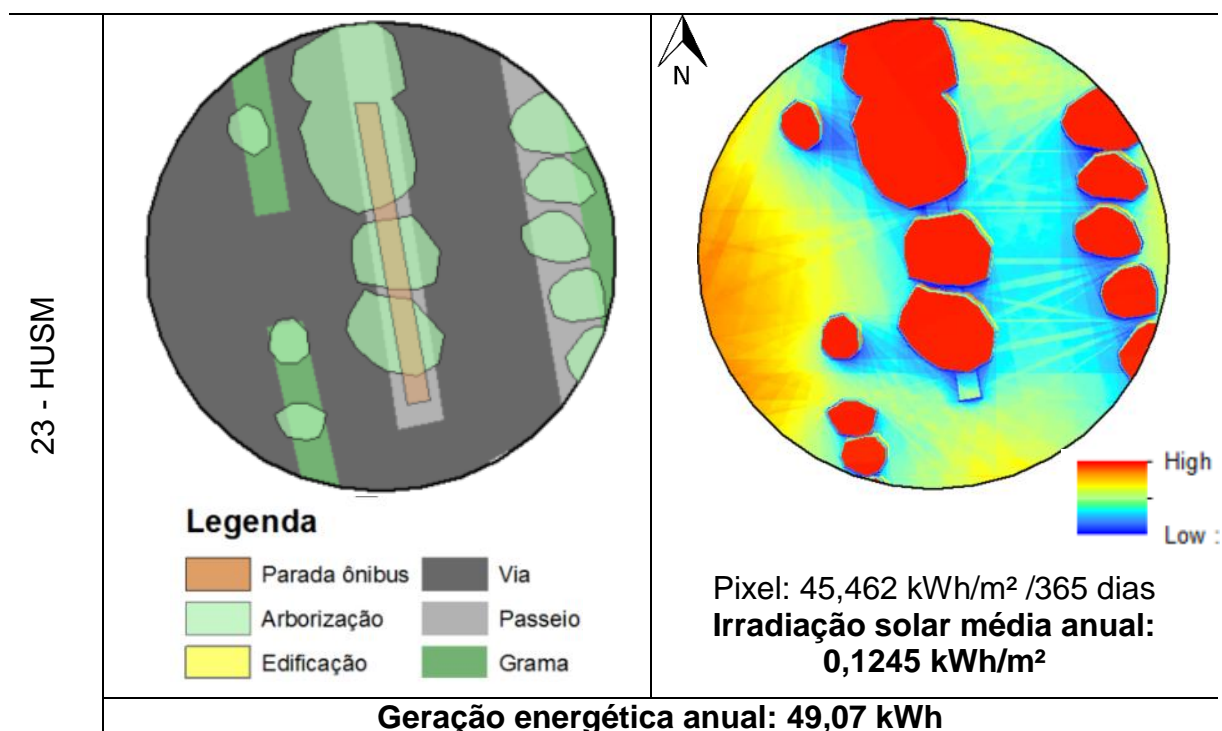
O ponto de ônibus 22 está posicionado perpendicular ao norte geográfico e com a via posicionada a oeste do abrigo, assim os módulos fotovoltaicos com inclinação de 10° estão voltados à leste, sendo o desvio azimutal de +90°L.

O entorno imediato não possui edificações que possam impactar nos níveis de irradiação solar recebidos pela cobertura da parada de ônibus, porém possui diversas arborizações pontuais que resultam em sombreamentos. Como este abrigo está localizada na Avenida Roraima, a via principal, possui um canteiro central com sequências vegetativas.

Assim, percebe-se que o topo das arborizações recebem os maiores índices de irradiação solar, enquanto a cobertura do ponto de ônibus está sombreado, o que resulta em um valor de irradiação média anual de 1,4731 kWh/m², que poderia gerar anualmente 580,69 kWh de energia elétrica. Neste caso, deslocar o abrigo um pouco a norte já poderia resultar em maior recebimento de raios solar e conseqüentemente gerar mais energia por meio da tecnologia fotovoltaica.

A Tabela 31 apresenta o ponto de ônibus 23, localizado em frente ao Hospital Universitário de Santa Maria, o HUSM. Este abrigo possui uma modelagem diferenciada com maior dimensão devido ao fluxo de ônibus e pessoas, visto que atende as linhas de transporte público municipal.

Tabela 31 - Ponto ônibus 23: HUSM.



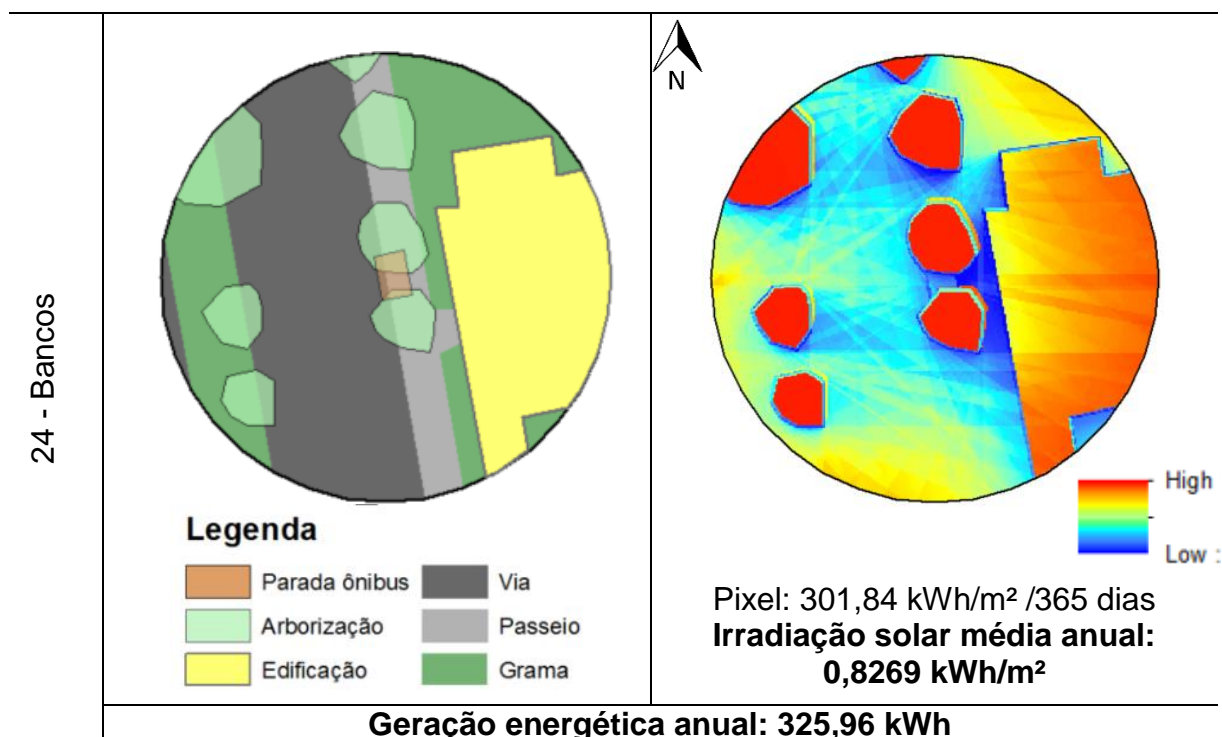
Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 23 está locada de maneira perpendicular ao norte geográfico, como este abrigo não segue o modelo padrão da Proinfra/UFSM, os módulos poderiam ser posicionados de maneira diferenciada. Porém, como é um zona com densidade arbórea, a cobertura do abrigo de ônibus não recebe os raios solares com plenitude, visto que são bloqueados pelo entorno natural em altura.

Percebe-se que os maiores índices de irradiação solar ficam concentrado no topo das arborizações, enquanto a cobertura do abrigo está muito sombreado. Desta forma, o valor de irradiação solar média anual na cobertura deste ponto é de 0,1245 kWh/m², que poderia gerar somente 49,07 kWh de energia anualmente.

Na Tabela 32 está representado as informações referente ao ponto de ônibus 24, localizado na zona dos bancos em frente a Caixa Econômica Federal.

Tabela 32 - Ponto ônibus 24: Bancos.



Fonte: Autora (2019).

O ponto de ônibus 24 está perpendicular ao norte geográfico e com a via localizada a oeste, sendo esta a Avenida Roraima, que possui um canteiro central com arborizações.

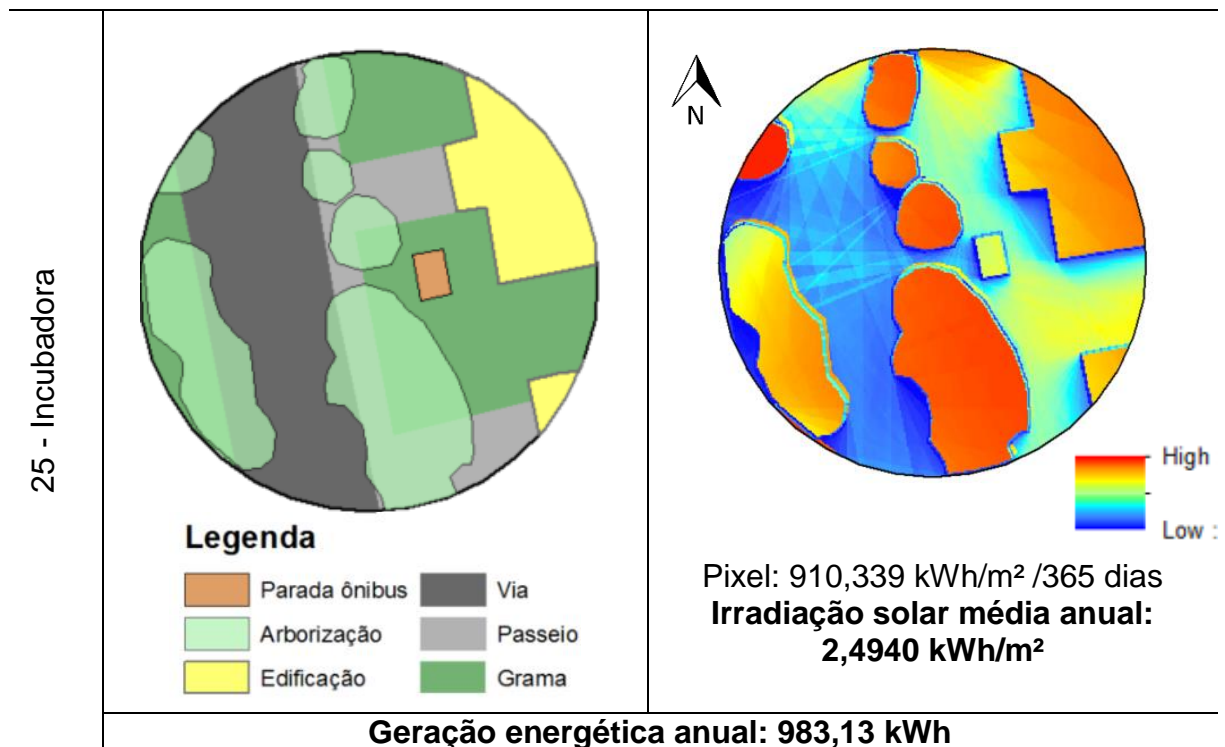
Neste abrigo, o entorno adjacente leste é composto pela edificação da Caixa Econômica Federal que possui dois pavimentos, além das arborizações leste e oeste que resultam em elevados níveis sombrios.

Desta forma, a cobertura da parada de ônibus é bloqueada para recebimento dos raios solares devido ao entorno construído e natural. Assim, o valor de irradiação

solar média anual resultante é 0,8269 kWh/m², que possibilita a geração de 325,96 kWh de energia elétrica por ano com efeito fotovoltaico.

A Tabela 33 apresenta os dados do ponto de ônibus 25, localizado em frente ao prédio da Incubadora Tecnológica de Santa Maria, perto do acesso principal ao campus.

Tabela 33 - Ponto ônibus 25: Incubadora.



Fonte: Autora (2019).

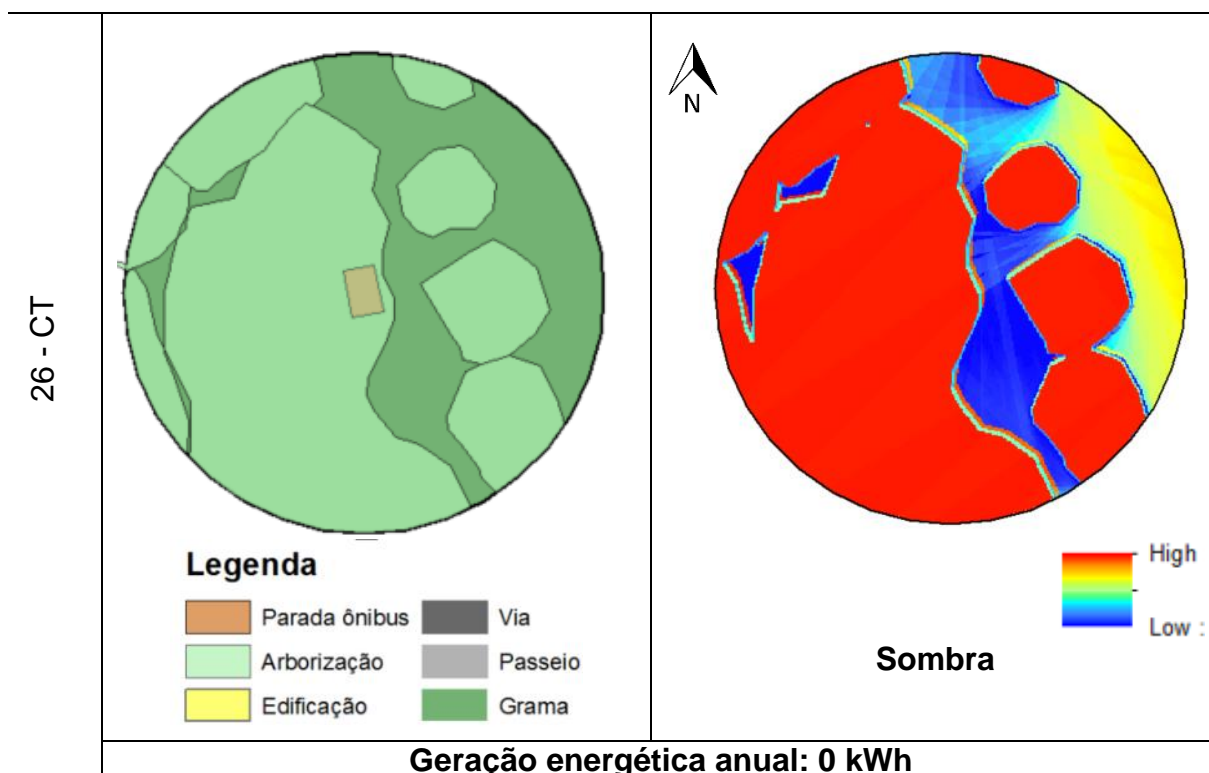
O ponto de ônibus 25 está posicionado perpendicular ao norte geográfico e com a via também a oeste. Desta forma, o sistema fotovoltaico estaria disposto na cobertura do abrigo em uma inclinação 10° a leste, ou seja, desvio azimutal de 90°L.

No entorno desta parada possui duas edificações de 1 pavimento a leste e vegetação arbórea a oeste, o que não impacta em altos níveis de sombreamento na cobertura do abrigo, devido ao seu posicionamento. A baixa estatura da edificação e a área livre a norte possibilitam que os raios solares atinjam sua cobertura na maior parte do ano, o que resulta em um valor de irradiação solar média anual de 2,4940 kWh/m².

Percebe-se que os maiores índices de irradiação apontados no topo das edificações e arborização, sendo que os 5 módulos fotovoltaicos na cobertura do ponto de ônibus seriam capazes de gerar 983,13 kWh de energia elétrica no período de um ano.

A Tabela 34 representa os dados do ponto de ônibus 26, localizado em frente ao prédio do Centro de Tecnologia, o CT.

Tabela 34 - Ponto ônibus 26: CT.



Fonte: Autora (2019).

Neste ponto de ônibus 26 a vegetação arbórea é densa, que resulta em bloqueio dos raios solares solar, conseqüentemente em sombra. Assim, não se pode gerar energia elétrica por tecnologia solar fotovoltaica.

Percebe-se que dependendo da localização dos pontos de ônibus e o entorno imediato construído e natural, variam os níveis de irradiação solar disponíveis na cobertura dos abrigos.

Assim, foi realizado uma síntese dos valores de irradiação solar e geração energética dos 26 pontos de ônibus mapeados no campus da UFSM. A Tabela 35

representa um ranking dos maiores níveis de irradiação solar de acordo com o local onde está inserido o ponto de ônibus. Esta tabela apresenta opções para a gestão da UFSM, que poderia decidir por onde iniciar os investimentos em tecnologia fotovoltaica.

Tabela 35 - Ranking dos pontos de ônibus com maior níveis de irradiação solar na cobertura.

Ranking	Ponto ônibus	Local	Irradiação média diária anual (kWh/m ²)	Geração média anual (kWh)	%
1º	2	RU II	3,9862	1.571,36	7,77
2º	17	Ed. Física	3,7854	1.492,20	7,38
3º	7	Agronomia	3,7204	1.466,58	7,25
4º	5	Geografia	3,6706	1.446,95	7,15
5º	15	Agittec	3,4197	1.348,04	6,66
6º	20	Planetário	3,3930	1.337,52	6,61
7º	8	CCSH	3,3059	1.303,18	6,44
8º	1	Ipê Amarelo	3,2165	1.267,94	6,27
9º	3	Acessibilidade	3,1377	1.236,88	6,11
10º	6	CAL	3,1010	1.222,41	6,04
11º	25	Incubadora	2,4940	983,13	4,86
12º	16	Centro Eventos	2,2938	904,21	4,47
13º	13	Veterinária II	2,1251	837,71	4,14
14º	12	Tambo	1,6081	633,91	3,13
15º	21	CEU	1,6051	632,73	3,12
16º	22	Biblioteca Central	1,4731	580,69	2,87
17º	18	Reitoria	1,4636	576,95	2,85
18º	9	Politécnico	1,4198	559,68	2,76
19º	24	Bancos	0,8269	325,96	1,61
20º	4	Jardim Botânico	0,4901	193,19	0,95
21º	10	Fitotecnia	0,4039	159,21	0,78
22º	14	HVU	0,2195	86,52	0,42
23º	23	HUSM	0,1245	49,07	0,24
24º	19	Paradão	0	0	0
25º	26	CT	0	0	0
26º	11	Zootecnia	0	0	0
TOTAL				20.216,11	100%

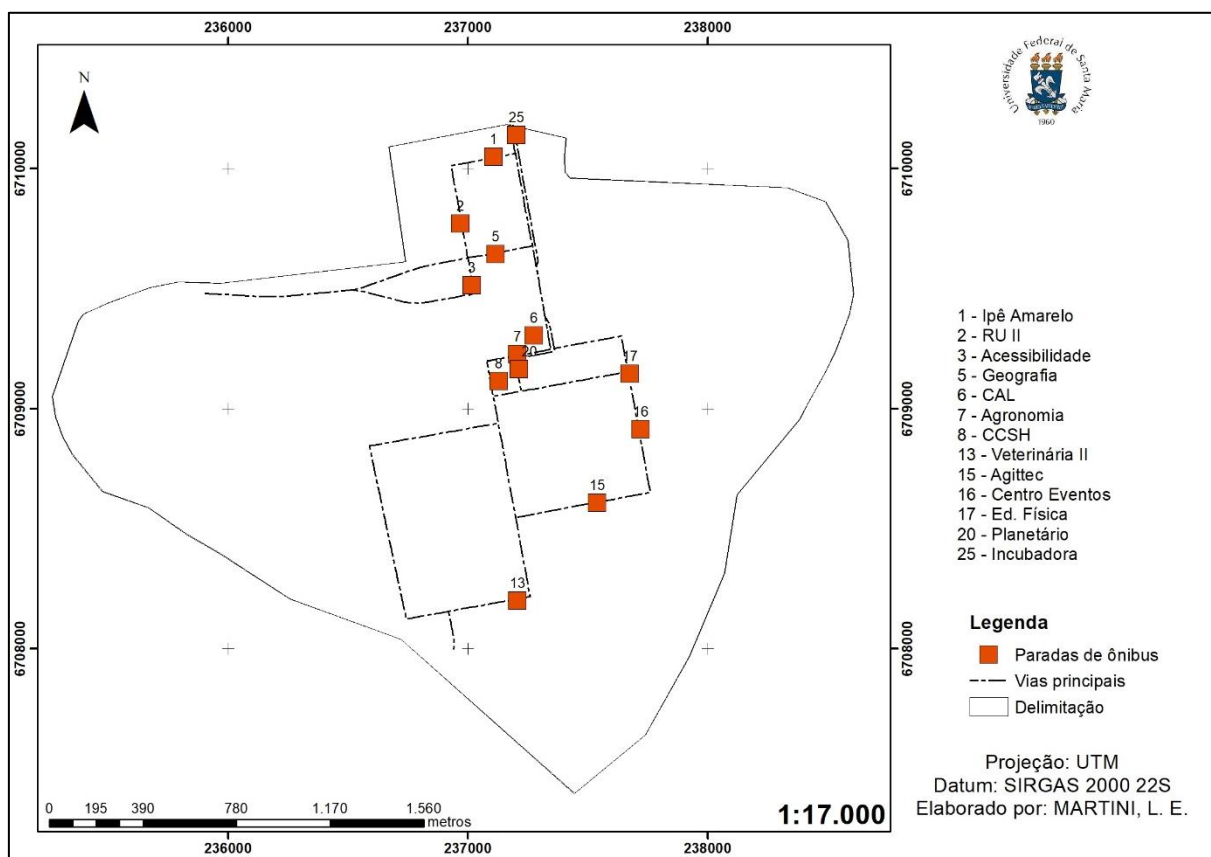
Fonte: Autora (2019).

Percebe-se que se fosse instalado um sistema fotovoltaico de 1,35 kWp de potência em cada um dos pontos de ônibus, a geração energética total anual no campus seria de 20.216,11 kWh. Porém, em algumas paradas há pouca vantagem de investimento, visto que o retorno é baixo. Assim, percebe-se na tabela do ranking que

até a 13ª posição a geração é de 81,21 % da energia total, o equivalente a 16.418,15 kWh de energia anual.

A Figura 58 apresenta a localização dos 13 pontos de ônibus com melhores níveis médios de irradiação solar anual em sua cobertura. Sendo 1º colocado no ranking o ponto de ônibus 2, que está localizado perto do RU II, e possui nível de irradiação solar de 3,9862 kWh/m² podendo gerar 1.571,36 kWh de energia por ano, que é o equivalente a 7,77% do total gerado. E em 13º colocado o ponto de ônibus 13, localizado perto dos prédios do curso de Veterinária, sendo seu nível de irradiação solar de 2,1251 kWh/m², sendo capaz de gerar 837,71 kWh de energia elétrica, o equivalente a 4,14% do total gerado. Entre o 1º e o 13º colocado, os pontos apresentaram valores intermediários de irradiação e geração.

Figura 58 - Mapa com o ranking dos 13 pontos de ônibus com melhores níveis de irradiação solar.



Fonte: Autora (2019).

Os 13 pontos de ônibus que apresentaram os melhores desempenhos nos níveis de irradiação solar e geração solar em ordem são: RU II (2: 7,77%), Educação Física (17: 7,38%), Agronomia (7: 7,25%), Geografia (5: 7,15%), Agittec (15: 6,66%), Planetário (20: 6,61%), CCSH (8: 6,44%), Ipê Amarelo (1: 6,27%), Acessibilidade (3: 6,11%), CAL (6: 6,04%), Incubadora (25: 4,86%), Centro de Eventos (16: 4,47%) e Veterinária II (13: 4,14%).

Para avaliar o impacto na geração de energia elétrica por meio dos módulos fotovoltaicos na cobertura dos pontos de ônibus em relação ao consumo anual de energia elétrica no campus, realizou-se uma análise comparativa entre estes valores. Sendo que os dados de consumo energético no campus da UFSM foram disponibilizados pela Proinfra/UFSM no período de quatro anos (2014 até 2018), representado na Tabela 36.

Tabela 36 - Média mensal (período 2014-2018) do consumo energético no campus da UFSM.

Mês	Média de consumo energia campus UFSM (2014-2018)
Janeiro	1.372.327,6 kWh
Fevereiro	1.297.088,4 kWh
Março	1.465.792,4 kWh
Abril	1.378.053,6 kWh
Mai	1.282.867,4 kWh
Junho	1.357.851,6 kWh
Julho	1.243.633,6 kWh
Agosto	1.272.343,6 kWh
Setembro	1.237.137,2 kWh
Outubro	1.269.421,2 kWh
Novembro	1.413.844,8 kWh
Dezembro	1.409.941,4 kWh
Total anual	16.000.302,8 kWh

Fonte: Proinfra/UFSM adaptado pela Autora (2019).

Enquanto o campus consome anualmente o equivalente a 16.000.302,8 kWh de energia elétrica, ao instalar a tecnologia em todos pontos de ônibus seria possível gerar 20.216,11 kWh de energia elétrica, o que representa 0,12% do consumo total no campus. Se os módulos fotovoltaicos fossem instalados nos 13 primeiros

colocados do ranking, estes pontos de ônibus seriam capazes de suprir 0,10% da demanda energética do campus no período de um ano.

Embora pareça pouca geração energética, observa-se que o consumo de eletricidade no campus apresenta um valor muito elevado. De forma que incentivar a produção de energia elétrica de maneira limpa e sustentável, podendo abater nos custos, representa certa vantagem. Além do incentivo à pesquisa e desenvolvimento no ambiente de ensino.

4.5 ESPAÇOS LIVRES COM POTENCIAL PARA GERAÇÃO ENERGÉTICA FV

Para verificar os espaços livres no nível do solo passíveis de receber tecnologia fotovoltaica centralizada para geração de energia elétrica foram demarcadas zonas em uso, como áreas agrícolas, zonas de pesquisa, industrial, áreas de preservação permanente e água. Visto que edificações e arborização já estavam demarcadas junto ao mapa base com os dados topográficos.

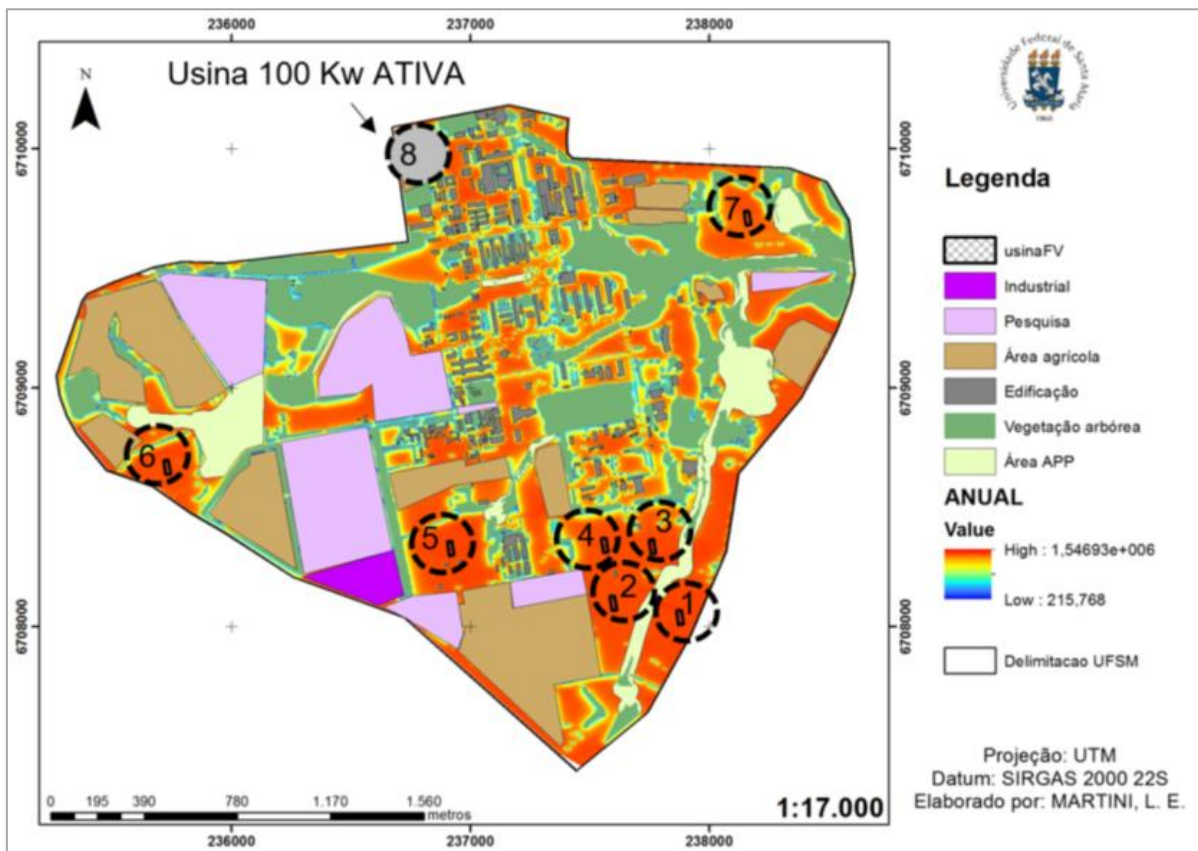
Então, utilizando o mapa dos níveis de irradiação solar disponíveis no campus da UFSM anual gerado anteriormente, analisou-se os espaços livres disponíveis para aplicação de tecnologia fotovoltaica em forma de usina solar para geração energética.

4.5.1 Usina 100 kW

No ano de 2018 foi inaugurada uma Usina Solar Fotovoltaica de geração energética com potência de 100 kW no campus da UFSM que está em pleno funcionamento.

Para verificar outras áreas aptas a receber esta tecnologia na área do campus, primeiramente foi locado a Usina ativa (8), com suas reais dimensões no mapa, posteriormente replicou-se a Usina Fotovoltaica em outros espaços livres suscetíveis de instalação, que apresentaram altos índices de recebimento energético em sua superfície (Figura 59).

Figura 59 - Localização dos espaços livres potenciais para instalação das usinas FV de 100 kW.



Fonte: Autora (2019).

A usina ativa (8) está localizada na fração norte do campus, área edificada e com vegetação arbórea no entorno. Avaliando o uso do solo em toda extensão do campus universitário, percebe-se algumas zonas com potencial para recebimento de tecnologia fotovoltaica. Visto que são áreas com baixos índices construtivos e também com pouca vegetação arbórea no entorno, o que não impacta o nível do solo com sombreamento.

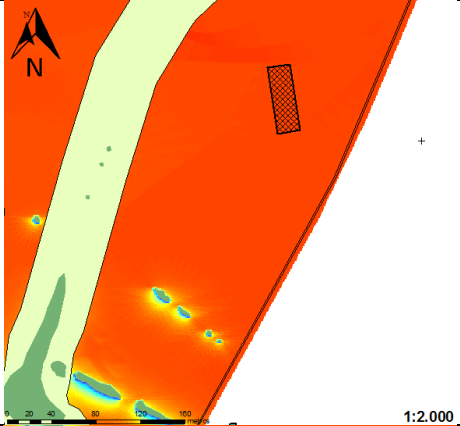

Como as usinas fotovoltaicas são instaladas no nível do solo, ou até 1,00 acima dele, é importante que a altura do entorno construído e natural não impacte nos níveis de irradiação solar disponíveis. Assim, percebe-se que no campus, as zonas confinadas apresentam características de solo livre, sendo identificados 7 trechos com altos níveis de irradiação solar no nível do solo.

Na zona sul foram apontados 5 locais apropriados, identificados no mapa pelos números 1, 2, 3, 4 e 5. Enquanto que na zona oeste um ponto, identificado pelo número 6, e região leste número 7.

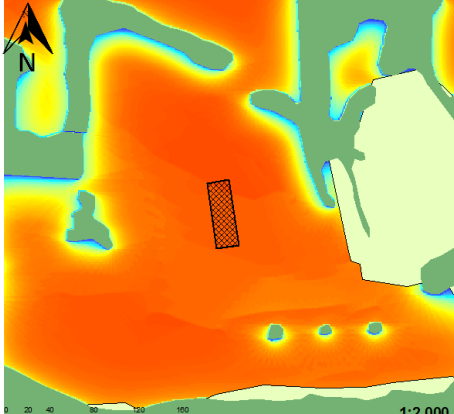
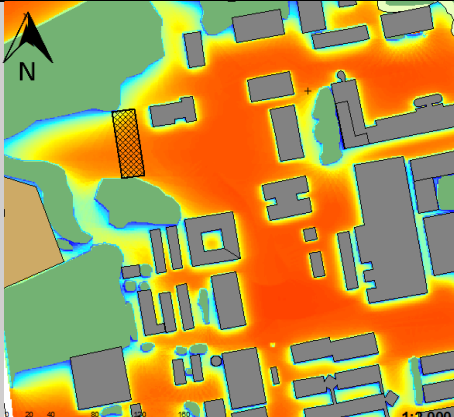
Para avaliar o entorno imediato e os níveis de irradiação solar disponíveis, na Usina ativa (8) e nas demais 7 propostas, diminui-se a escala trabalhada a fim de ampliar os locais das 8 usinas e seu entorno.

Na Tabela 35 é possível visualizar a localização das usinas no Campus universitário, o valor médio anual diário de irradiação solar neste ponto e a quantidade de energia gerada anualmente pelo potência de 100 kW dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 35 – Localização das áreas potenciais para Usinas FV 100 kW, níveis de irradiação e geração energética anual.

Local	Imagem	Média anual diária Irradiação solar (kWh/m ²)	Geração energética anual (kWh)
1		3,8788 kWh/m ²	115.821,50 kWh
2		3,8650 kWh/m ²	115.411,17 kWh

<p>3</p>		<p>3,8803 kWh/m²</p>	<p>115.866,80 kWh</p>
<p>4</p>		<p>3,8523 kWh/m²</p>	<p>115.031,87 kWh</p>
<p>5</p>		<p>3,8968 kWh/m²</p>	<p>116.359,00 kWh</p>
<p>6</p>		<p>3,8390 kWh/m²</p>	<p>114.634,59 kWh</p>

7		3,7414 kWh/m ²	111.717,92 kWh
8 - ATIVA		3,5762 kWh/m ²	106.785,00 kWh

Fonte: Autora (2019).

Foram identificados sete zonas potenciais para reuplicar a instalação da Usina Fotovoltaica, a fim de gerar energia elétrica de maneira distribuída no campus da UFSM. A Usina 1 está localizada em uma zona sem área construída e natural em altura no entorno, chegando a um valor médio anual diário de irradiação solar de 3,8788 kWh/m², possibilitando a geração de 115.821,50 kWh de energia elétrica anualmente.

A Usina 2 está entre uma zona de APP e zona agrícola/pesquisa, apresentando uma grande distância entre estas zonas e também de edificação no entorno. Assim, o valor médio anual diário de irradiação solar é de 3,8650 kWh/m², gerando 115.411,17 kWh/m² de energia. Enquanto isso, a Usina 3, apresenta edificações e arborização no entorno, mas devida à distância, não impacta em sombreamento nos módulos fotovoltaicos, sendo assim, o nível de irradiação é 3,8803 kWh/m², gerando 115.866,80 kWh de energia elétrica.

A Usina 4 e Usina 5, em uma zona mais central, apresenta edificações e arborização no entorno, além de zona agrícola e de pesquisa, porém distantes o

suficiente para evitar sombreamentos. Assim, o valor médio anual diário de irradiação solar resultantes foram 3,8523 kWh/m² e 3,8968 kWh/m², e a geração energética anual 115.031,87 kWh e 116.359,00 kWh, respectivamente.

A Usina 6 estaria locada no oeste do campus, em uma zona livre entre arborizações e área agrícola, apresentando valor médio anual diário de 3,8390 kWh/m² e geração energética anual de 114.634,59 kWh. E a Usina 7 ao leste do campus, na altitude mais baixa do terreno e perto da área de APP e arborizações, resultando em nível de irradiação médio anual diário de 3,7414 kWh/m² que gera 111.717,92 kWh de energia.

Já a Usina 8, a única real, localiza-se em uma região mais densa construída e natural. Percebe-se que as vegetações arbóreas do entorno não apresentam distância o suficiente para que os módulos fotovoltaicos fiquem livres de sombreamento durante todo o ano, impactando assim nos níveis de irradiação recebidos e a energia gerada. Assim, resulta um valor mais baixo de irradiação média anual diária de 3,5762 kWh/m², gerando 106.785,00 kWh de energia elétrica anualmente, considerado valores inferiores comparados aos outros sete pontos potenciais.

O potencial de geração energética mensal das oito usinas em comparação com a média de consumo energético do campus universitário pode ser verificado na Tabela 36.

Tabela 36 - Comparativo entre valores de geração mensal das Usinas FV e a média de consumo energético mensal no campus da UFSM.

	USINA 1	USINA 2	USINA 3	USINA 4	USINA 5	USINA 6	USINA 7	USINA 8	Média consumo energia (2014-2018) (kWh)
Meses	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	Geração Mensal (kWh)	
Jan	13872,9	13860,1	13829,4	13825	13849,5	13838,6	13740,1	13229,9	1372327,6
Fev	12752,2	12724,8	12734,2	12679,3	12766,9	12679,4	12478,1	12154,4	1297088,4
Mar	10634,9	10589,6	10648,4	10592,6	10685	10517,7	10216	10060,5	1465792,4
Abr	7774,3	7718,6	7807,2	7742,6	7868,2	7636,7	7289,4	7166,5	1378053,6
Mai	5372,6	5319,7	5411,2	5295,8	5460	5242,7	4922,5	4179,3	1282867,4
Jun	4087,8	4044,1	4121,6	4016,8	4163,7	3981,8	3706,2	2969	1357851,6
Jul	4893,3	4835,2	4924,2	4805,4	4975,6	4758,2	4446,4	3677,3	1243633,6
Ago	6864	6865,3	6893,5	6767,1	6953,7	6703,9	6371,3	6160,9	1272343,6
Set	9630,9	9574,8	9652,1	9537,3	9708,3	9498,1	9186,8	9077,3	1237137,2
Out	12172,1	12134,7	12168,7	12099	12204,8	12070,5	11846,9	11635,5	1269421,2
Nov	13710	13694,3	13672,4	13661,7	13701,1	13668,9	13543,3	12580,5	1413844,8
Dez	14055,9	14049,4	14003,3	14008,8	14021,8	14037,5	13970,3	13893,3	1409941,4
Total	115821,5	115411,1	115866,8	115031,8	116359	114634,5	111717,9	106785	16000302,8

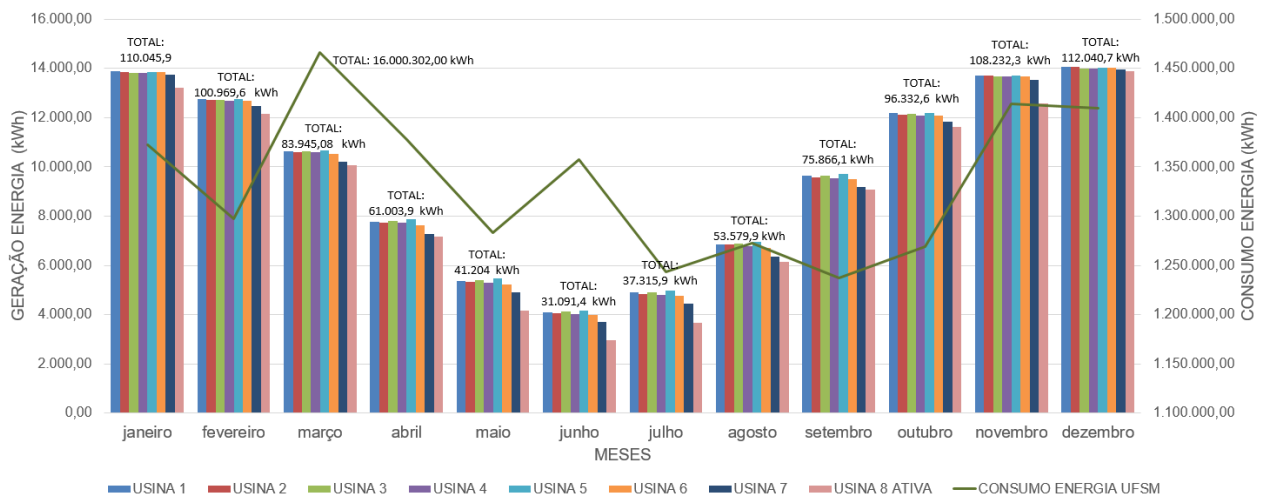
Fonte: Autora (2019) e Proinfra/UFSM (2019).

Nota-se as Usinas 1 (115.821,5 kWh), 2 (115.411,1 kWh), 3 (115.866,8 kWh), 4 (115.031,8 kWh), 5 (1163.59 kWh), 6 (114.634,5 kWh) e 7 (111.717,9 kWh) propostas apresentam maiores potenciais de geração energética do que a Usina 8 (106.785 kWh), que está em atividade. Isso pode ser consequência do impacto das alturas no entorno imediato, como as vegetações arbóreas, que bloqueiam parte dos raios solares nesta Usina em determinados períodos do ano. Apesar disso, comparando a geração da Usina 8 (106.785 kWh) com a geração da Usina 5 (116.359 kWh) a diferença de geração é de 8%. De forma que o local da implantação da Usina FV UFSM (8) foi estratégico, pois localiza-se ao lado do prédio do INRI (Instituto de Redes Inteligentes) que faz a manutenção e acompanhamento do sistema fotovoltaico.

A Figura 58 apresenta um gráfico comparativo entre a geração mensal de energia das oito Usinas FV em relação a demanda energética do Campus UFSM. Os

valores médios mensais de consumo energético foram disponibilizados pela Proinfra/UFSM, sendo uma média do período de 2014 até 2018.

Figura 58 - Gráfico comparativo entre valores de geração mensal das Usinas FV de 100 kW e a média de consumo energético mensal no campus da UFSM.



Fonte: Autora (2019).

No gráfico é perceptível a compensação energética que a instalação das novas sete usinas, de 100 kW cada, poderiam resultar. Percebe-se também, que as usinas propostas seguem um padrão nos níveis de irradiação solar, enquanto a coluna da usina ativa em todos os meses está abaixo das demais.

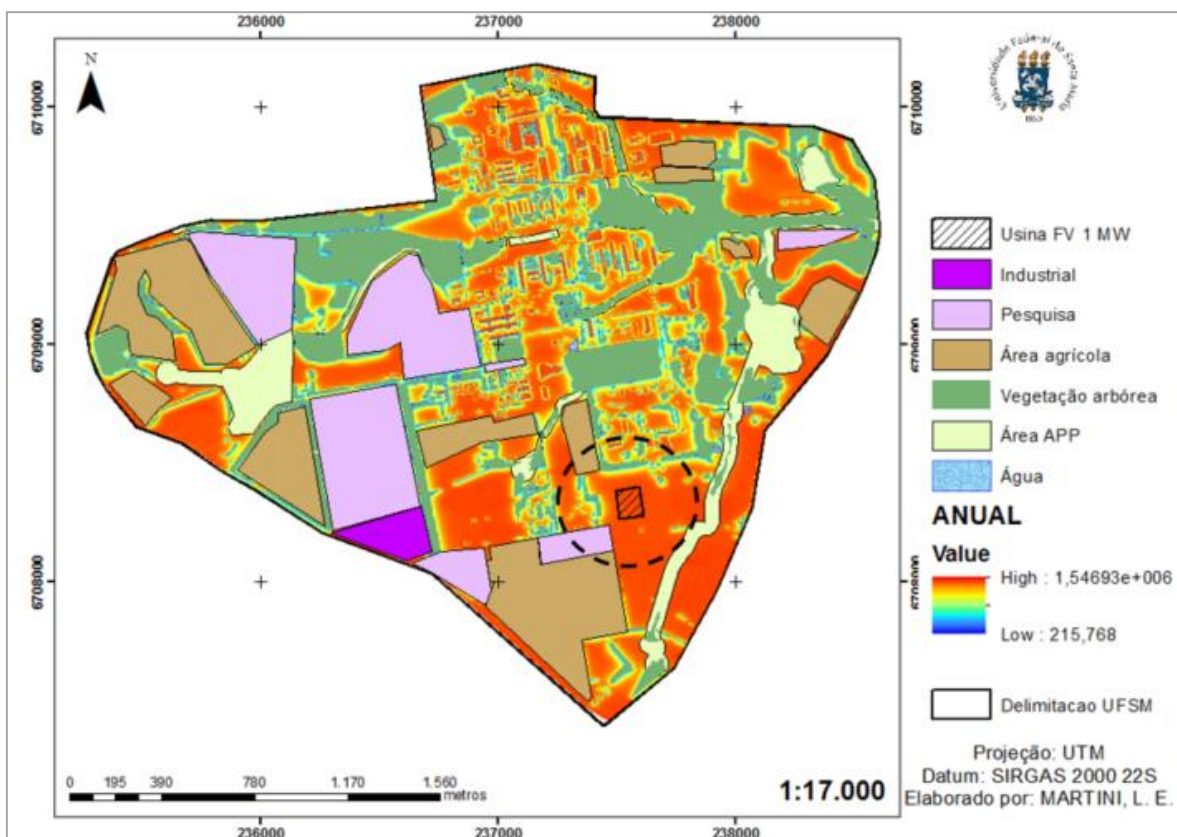
Enquanto a geração total anual das 8 Usinas FV poderiam gerar 911.627,90 kWh de energia elétrica, o consumo anual energético da UFSM é de 16.000.302,8 kWh, o equivalente a 5,69% da demanda.

4.5.2 Usina 1 MW

Para verificar os espaços livres aptos a receber a instalação da Usina FV de 1MW, visto que é dez vezes maior em dimensão e potência que a de 100kW. Assim, foi necessário identificar espaços livres amplos que recebem altos níveis de irradiação e não sofram impacto de sombreamento do entorno construído e natural.

Para comportar a Usina FV de dimensão média de 140,00 metros por 100,00 metros, identificou-se um espaço livre na zona sul do Campus UFSM, demonstrado na Figura 59.

Figura 59 – Mapa da UFSM apresentando os níveis de irradiação solar anual e a área potencial para instalação Usina FV de 1 MW.

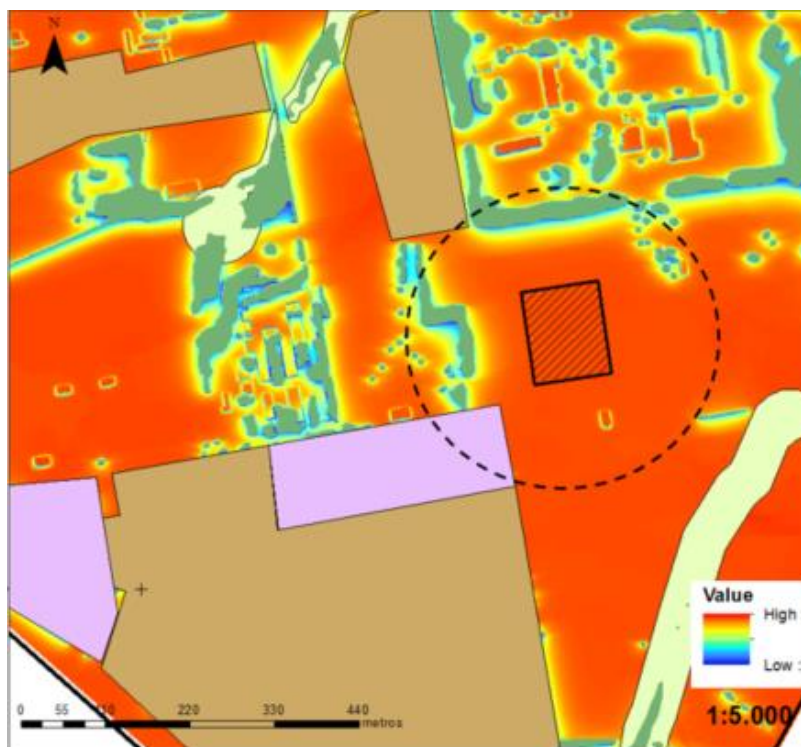


Fonte: Autora (2019).

Este mapa apresenta informações relevantes para definição da área compatível ao recebimento desta Usina FV de 1MW, sendo um espaço livre de sombreamento consequência das edificações e arborizações, além de ser uma zona de maior altitude topográfica, o que impacta positivamente no recebimento dos raios solares. No nível do solo, não atende nenhuma demanda do campus como áreas edificadas, agrícolas, pesquisa, industrial ou áreas de preservação permanente. Sendo que, atualmente esta área fica aos fundos do Centro de Eventos e tem uso eventual do curso de zootecnia.

Na Figura 60 está representada em menor escala a zona em potencial, a fim de visualizar em detalhes o entorno imediato e os níveis de irradiação recebidos na Usina Fotovoltaica de 1 MW.

Figura 60 - Área potencial para instalação Usina FV de 1 MW.



Fonte: Autora (2019).

Nota-se na escala gráfica de cores que a região apresenta alto potencial energético, representado pela cor vermelha, que demonstra o comportamento dos níveis de irradiação solar recebidos no Campus UFSM em um período de uma ano.

Assim, pode-se identificar o valor de irradiação solar médio máximo nos pixels onde a Usina FV foi locada, constatando-se o valor de 1.448,97 kWh/m² no somatório de 365 dias. Para obtenção da média diária neste ponto, ao realizar a divisão pelos dias do ano, chegou-se ao valor médio diário anual máximo de 3,9698 kWh/m².

Com o objetivo de realizar um comparativo entre a capacidade de geração energética desta Usina FV de 1 MW mensalmente e o consumo de energia no campus UFSM, foram realizado os cálculos de geração.

Considerando que a Usina FV apresenta as mesmas características técnicas dos módulos FV da Usina de 100 kW e dos módulos FV dos ponto de ônibus (potência

individual dos módulos de 0,27 kWp) chegou-se aos valores de geração apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 Comparativo entre valores de geração mensal da Usinas FV de 1 MW e a média de consumo energético mensal no campus da UFSM.

Meses	Geração Mensal (kWh)	Média consumo energia (2014-2018) (kWh)
Janeiro	137.448,3	1.372.327,6
Fevereiro	126.394,2	1.297.088,4
Março	105.106,6	1.465.792,4
Abril	76.613,7	1.378.053,6
Mai	52.880,8	1.282.867,4
Junho	40.212,0	1.357.851,6
Julho	48.019,7	1.243.633,6
Agosto	67.600,4	1.272.343,6
Setembro	95.201,4	1.237.137,2
Outubro	120.534,2	1.269.421,2
Novembro	135.985,0	1.413.844,8
Dezembro	139.336,2	1.409.941,4
Total	1.145.332,5	16.000.302,8

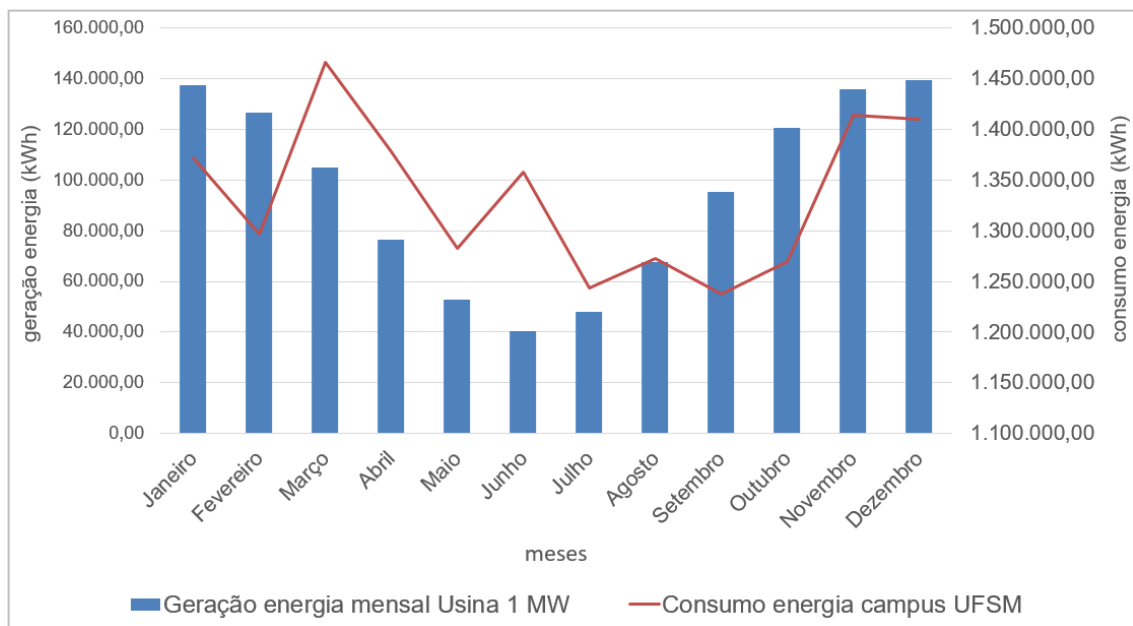
Fonte: Autora (2019) e Proinfra/UFSM (2019).

Na tabela percebe-se que os níveis de geração energética variam consideravelmente ao longo do ano, apresento período de maior geração (meses de verão) e períodos de menor geração (meses de inverno). Enquanto a média de consumo de energia se mantém constantes ao longo de todo o ano, ou seja, o consumo elétrico da UFSM parece ter alguma correlação com a disponibilidade de irradiação solar, somada às suas características de uso. Março é o início do período letivo junto com as altas temperaturas, demonstrando o pico de consumo. Conforme diminui a temperatura, o consumo diminui até maio; junho tem funcionamento normal da UFSM, mas com o início da solstício de inverno o há uso da energia para aquecimento e iluminação, mais cedo. Já em junho há decréscimo pois é período de

férias; e agosto e setembro há funcionamento normal, porém com temperaturas mais amenas.

Na Figura 61, pode-se visualizar estas informações por meio de um gráfico comparativo, possibilitando identificar o comportamento de geração e demanda energética anualmente.

Figura 61 – Gráfico comparativo entre o valor de geração mensal da Usina FV de 1 MW e a média de consumo energético mensal no campus da UFSM.



Fonte: Autora (2019).

No gráfico constata-se a compensação energética que a Usina FV de 1 MW poderia resultar ao ser instalada nos limites do campus universitário.

Desta forma, anualmente a Usina de 1 MW seria capaz de gerar um valor médio de 1.145.332,5 kWh de energia, enquanto a média de consumo energético na UFSM é de 16.000.302,8 kWh. Sendo assim, a compensação energética desta usina nas contas de energia do campus seria equivalente a 7,15 % ao fazer a instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição.

A Tabela 38 apresenta a síntese dos dados de geração e consumo energético no Campus da UFSM no período de um ano, remetendo as informações deste estudo.

Tabela 38 - Comparativo entre geração e economia do consumo energético no campus da UFSM no período de um ano.

Período: 1 ano	Ranking Pontos ônibus (13 unidades)	Usina 100 kW (8 unidades)	Usina 1MW (1 unidade)
Geração energia	16.418,15 kWh	911.627,90 kWh	1.145.332,5 kWh
Economia	0,10 % consumo	5,69 % consumo	7,15% consumo
Demanda energia	energético	energético	energético

Fonte: Autora (2019).

5 CONCLUSÃO

O campus da Universidade Federal de Santa Maria usufruí de uma extensa área dedicada a atender a comunidade acadêmica, em que diversas atividades são realizadas em prol do desenvolvimento econômico e social.

Para atender estas demandas, há subdivisões construídas e naturais, que foram analisadas. Em relação as áreas naturais, percebe-se que a topografia não apresenta declínio atenuados ao ponto de resultar em sombreamentos no terreno. Porém, a vegetação arbórea apresenta uma densidade expressiva, representando 31,69% da cobertura vegetal, o que resulta em muitas zonas de sombreamento que impactam nos níveis de irradiação recebidos ao nível do solo.

Em contrapartida, as edificações representam 4,55% em projeção da área total do campus, além do predomínio de construções de baixa estatura (tipologia de um pavimento corresponde a 69% dos imóveis), resultando em pouco bloqueio dos raios solares por altura.

Com todos estes dados estruturados, foi possível gerar os mapas por meio da ferramenta Solar Analyst do ArcGIS (SIG) representando os valores de irradiação solar disponíveis mensalmente e anualmente em toda extensão campus. Observou-se que os valores resultantes mensalmente são compatíveis com o esperado para esta localização geográfica, com os maiores níveis diários de irradiação no verão, menores valores no inverno e médio alcance no outono e primavera. Resultando em estações do ano bem definidas, com valores de irradiação com altos e baixos em uma distribuição anual. Assim, o valor médio de irradiação solar diário foi de 4,2801 kWh/m².

Para validar os valores de irradiação obtidos pelo Solar Analyst do ArcGIS (SIG) foi realizada uma comparação com os dados obtidos pelo software Radiasol2, posteriormente um segundo defronte com os dados reais medidos pelo piranômetro do sistema fotovoltaico do Colégio Politécnico da UFSM. Assim, conclui-se que os valores de irradiação solar fornecidos pelo Solar Analyst (SIG) apresentam confiabilidade para aplicação no estudo.

Então, identificou-se os níveis de irradiação solar disponíveis na cobertura dos pontos de ônibus (total de 26 unidades), avaliando o impacto por sombreamento do entorno construído e natural, mapeado em SIG e dado em kWh/m². Assim, foi possível classificar os abrigos com potenciais para recebimento de sistema fotovoltaico para

geração de energia elétrica. Percebeu-se o predomínio de bloqueios dos raios solares na cobertura das paradas de ônibus pela vegetação arbórea em altura, sendo que dentre 26 pontos de estudos analisados, seria vantajoso a aplicação de sistema fotovoltaicos em 13 abrigos, classificados em ranking de maiores recebimentos de radiação. Sendo estes, boas opções para baixo investimento financeiro em tecnologia FV.

Por fim, utilizando como base o mapa de irradiação solar anual de todo o campus e o impacto dos itens em altura (edificação e arborização), mapeou-se os usos do solo, como: área de preservação permanente, área de pesquisa, agrícola, industrial e águas, afim de identificar espaços livres com altos potenciais solares para locação de Usinas Fotovoltaicas com potência de 100 kW e 1 MW.

Como a Usina FV de 100 kW possui uma dimensão menor, foi verificado sete áreas com altos potenciais de irradiação solar para reaplicação desta tecnologia no campus. Enquanto que a Usina FV de 1 MW, devido a maior proporção construtiva, identificou-se uma área livre com alto recebimento energético solar. Porém, é um terreno que possibilitaria ampliação da Usina de 1 MW, se necessário.

Isto posto, ao calcular a geração energética desta Usinas FV, constatou-se que as 8 Usinas FV de 100 kW (incluindo a ativa) seriam capazes de gerar anualmente 911.627,90 kWh de energia elétrica. Enquanto a Usina de 1 MW de potência poderia gerar sozinha anualmente 1.145.332,5 kWh de energia elétrica.

Considerando que o gasto energético anual da UFSM é de 16.000.302,8 kWh, se as 8 Usinas FV de 100 kW cada estivessem ativas, estas seriam capazes de suprir 5,69% desta demanda energética. Em contrapartida, a Usina de 1 MW poderia proporcionar uma economia de aproximadamente 7,15% deste consumo anual energético da UFSM.

Contudo, diante do que foi apresentado, percebe-se a validade da utilização de SIG para planejamento de investimento em tecnologia FV para áreas urbanas. Pois permite desde análises pontuais, como BAPV em pontos de ônibus), até grande escala, como usinas FV, podendo ser um instrumento de decisão para gestores.

Recomendações de trabalhos futuros:

- Reaplicação da metodologia abordando a temática vegetativa com maior detalhes, como: espécies caducas e perenes.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. A.; URBANETZ, J. J. **Usinas solares fotovoltaicas no Brasil: Panorama atual e perspectivas futuras**. INDUSCON. Anais...Curitiba, PR: 2016
- ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Universidade de São Paulo, 2012.
- ALVES, J. P. DE C. **Estudos fotofísicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. Universidade de Campinas, 2011.
- ANANIAN, P.; FONTES, M. S. G. DE C.; SILVA, B. **AVALIAÇÃO QUANTO AO DESEMPENHO TÉRMICO DE EQUIPAMENTO URBANO NO CALÇADÃO DE BAURU**. ENCAC. Anais...Maceió - Alagoas: 2005
- ANEEL, A. N. DE E. E. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: ANEEL, 2002.
- ANTONIOLLI, A. F. G. **Avaliação do desempenho de geradores solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO DO GABINETE DO REITOR - UFSM. **UFSM e RGE Sul inauguram Usina de Microgeração Solar Fotovoltaica**, 2018. Disponível em: <<https://www.ufsm.br/2018/10/31/ufsm-e-rge-sul-inauguram-usina-de-microgeracao-solar-fotovoltaica/>>
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL BEN. **Relatório Síntese/Ano Base 2018**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório Síntese BEN 2019 Ano Base 2018.pdf>>.
- BEIGELMAN, B. B. **A energia solar fotovoltaica e a aplicação na Usina Solar de Tauá**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- BIG/ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil - Banco de informação de geração**. Brasília, DF. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: Diretrizes para arquitetos**. 5.ed ed. Maceio.
- CABREIRA, T. N.; CANTO-DOROW, T. S. Florística dos componentes arbóreo e arbustivo do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. **Ciência e Natureza**, v. 38, n. 2179– 460X, p. 09–23.
- CECATTO, J. R. O Sol (capítulo 4). In: INPE (Ed.). **Introdução a astronomia e astrofísica**. São José dos Campos, SP. p. 370.
- CHARABI, Y.; GASTLI, A. GIS assessment of large CSP plant in Duqum, Oman.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 2, p. 835–841, 1 fev. 2010.

CRESESB, C. DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA S. B. **Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaico**. Rio de Janeiro, RJ: Ediouro Gráfica e Editora SA, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA EPE. **Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023)**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA_26_Eficiencia_Energética_e_Geração_Distribuída_para_os_próximos_10_anos%5B1%5D.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <www.epe.gov.br>.

FERNANDES, E. I. F.; SÁ, M. M. F. **Influência das variáveis do terreno na radiação solar**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...Florianópolis, SC: INPE, 2007

FILIPINI, F. A.; SORIA, A. F. S. **Eficiência Energética**. 1. ed ed. Curitiba, PR: Editora Base Ltda, 2010.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

FREITAS, G. M. **Biomassa, uma fonte de energia**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 8 ed. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2016.

FU, P.; RICH, P. M. **The Solar Analyst 1.0 Manual**Kansas, USA.Helios Environmental Modeling Institute, LLC, , 2000.

GAVIRIA, L. R. **Influência da configuração urbana na geração energética de sistemas fotovoltaicos integrados às fachadas**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

GELLER, H. S. **Revolução Energética**. Rio de Janeiro, RJ: Relume Dumará, 2003.

GONÇALVES, G.; POSEIRO, P.; DUARTE, S. **Modelação da radiação solar em ambiente urbano: estudo comparativo entre o Solar Analyst e o R.Sun**. Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia. Anais...Lisboa, Portugal: 2015Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/289649179_Modelacao_da_Radiacao_Solar_em_Ambiente_Urbano_Estudo_Comparativo_entre_o_Solar_Analyst_e_o_RSun/citation/download>

GUEDES, J. B. **Design no Urbano: Metodologia de análise visual de**

equipamentos no meio urbano. Universidade Federal de Pernambuco - Recife, 2005.

INRI/UFSM. **Instituto de Redes Inteligentes**, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA IPEA. Revista Desafios do Desenvolvimento. **ano 13**, p. 88, 2016.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY IEA. **World Energy Balances 2018: Overview**. Paris, França. Disponível em: <<https://www.iea.org/geco/>>.

IPLAN SM, I. DE P. DE S. M. **Levantamento aerofotogramétrico**. Santa Maria - RS.

JIRÓN, L. A. C.; ARAYA, P. U. No ACCESO SOLAR A LAS EDIFICACIONES. El eslabón pendiente en la legislación urbanística chilena sobre la actividad proyectual. Title. **Revista de Urbanismo N°26**, jun. 2012.

JOHN, N.; REIS, A. T. Percepção, estética e uso do mobiliário urbano. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, p. Vol. 5, n. 2, 2010.

KREITH, F.; KREIDER, JA. F. **Principles of solar engineering**. Washignton, DC: Hemisphere Publishing Corp, 1978.

KRENZINGER, A.; BUGS, R. C. **Radiasol2: Software para sintetizar dados de radiação solar**. IV Conferencia Latino Americana de Energia Solar. **Anais**. Cuzco, Peru: 2010

LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA UFSM. **Conceitos de cartografia**. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=26:utm-universal-transversa-de-mercator&catid=14:basico&Itemid=30>. Acesso em: 20 set. 2007.

LACRUZ, M. S. P.; SOUZA, M. DE A. F. **Desastres naturais e geotecnologias – sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos, SPINPE, , 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed ed. Rio de Janeiro, RJ: Eletrobras/Procel, 2014.

LAZAROTTO, G. **Variáveis de ocupação do solo e microclimas urbanos no período noturno - Bairro Camobi, Santa Maria -RS**. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas no Brasil, vol.2**. 5. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016a.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas no Brasil, vol.3**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos

da Flora, 2016b.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas no Brasil, vol.1.** 7. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016c.

LORENZI, H.; ET AL. **Árvores Exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas.** 1. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MAGNUS, D. DE M.; BECKER, D. P.; TAVARES, A. A. Estudo da inserção de usinas fotovoltaicas na matriz elétrica brasileira: 2015 -20150. **Revista Vincci - Periódico Científico da Faculdade SATC**, v. 1, p. 75–98, 2016.

MARTINAZZO, C. A. **Modelos de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

MELO, E. G. DE. **Geração Solar Fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações.** Universidade de São Paulo, 2012.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**, 2015. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-ousin/mapas>>

PERAZA, D. G. **Estudo de viabilidade da instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado do Rio Grande do Sul.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. **Inpe**, p. 80, 2017.

PEREIRA, E. B. . ET AL. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2.ed ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

PÉREZ, D. R. C. **O envelope solar e o direito ao sol.** Universidade Estadual de Campinas, 2007.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 4ª Edição ed. Rio de Janeiro, RJ: Ce, Cepel - Cresesb, 2014.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento.** Ourinhos, SP. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321109871_INTRODUCAO_AO_GEOPROCESSAMENTO>.

PROINFRA UFSM, P.-R. DE I. **Mapas campus em dwg.** Santa Maria - RS, 2018.

REN21. **Global status report 2019.** Paris, França. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2019/pages/imprint/imprint/>>.

RIBEIRO, C. A. DE M.; LEDER, S. M. **Estimativa da insolação em áreas urbanas utilizando ferramenta SIG.** XIV ENTAC - Encontro Nacional do Ambiente

Construído. **Anais**. Juiz de Fora: 2012

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1ª ed. Florianópolis, SC: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SABOYA, R. Análises espaciais em planejamento urbano: novas tendências. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, p. 61–79, nov. 2000.

SALINAS, D. L. **Tesina: Impacto Solar en la Escala Urbana**. Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

SANTOS, Í. P. DOS. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em Edificações residenciais e sua contribuição em um Alimentador de energia de zona urbana mista**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SILUK, A. R. **Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico e suas relações com a arquitetura**. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

SONZA, A. E. B. L.; ELY, V. H. M. B. **Simulações em malhas urbanas: projeções de crescimento com foco na insolação**. 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. **Anais...Minho - Portugal**: 2010

SOUZA, T. A. DE; GANDARA, J. M. Mobiliário urbano como elemento de qualidade, marketing e sustentabilidade em Curitiba-PR. **Revista Hospitalidade**, p. 78- 96, jun. 2013.

SPODE, P. L. C.; ROCHA, L. H. M.; FARIA, R. **Valorização e produção do espaço urbano no bairro Camobi, Santa Maria, RS, em 2017: uma análise a partir do mercado de imóveis verticais**. XIV SEUR – III Colóquio Cidade e Cidadania. **Anais...Pelotas**: 2018

THE GERMAN SOLAR ENERGY SOCIETY, D. **Planning and installing photovoltaic systems : a guide for installers, architects, and engineers**. 2ed. ed.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do paraná**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2015.

URBANERTZ, J. J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

VALENTINI, D. R. **Planejamento ambiental como base ao Plano Diretor do Campus da UFSN - RS**. Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

VIANA, T. DE S. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

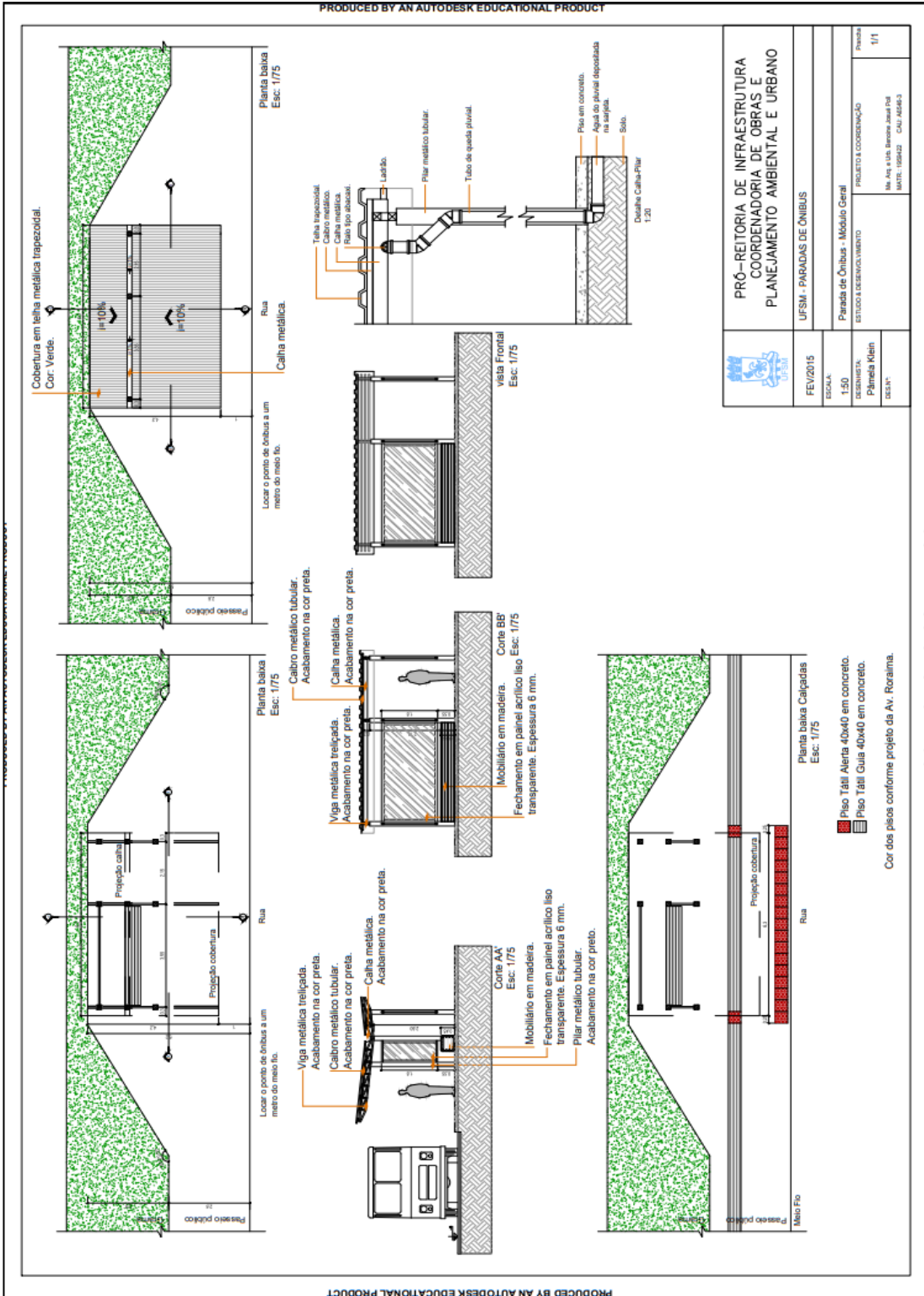
ZAMPIERI, R. V. **Campus da Universidade de Santa Maria: um testemunho, um fragmento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

ZILLES, R.; AL., E. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

ZOMER, C. D.; ET AL. **Análise da compensação energética do centro de pesquisa e capacitação em energia solar da UFSC**. XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Balneário Camboriu, SC: 2017

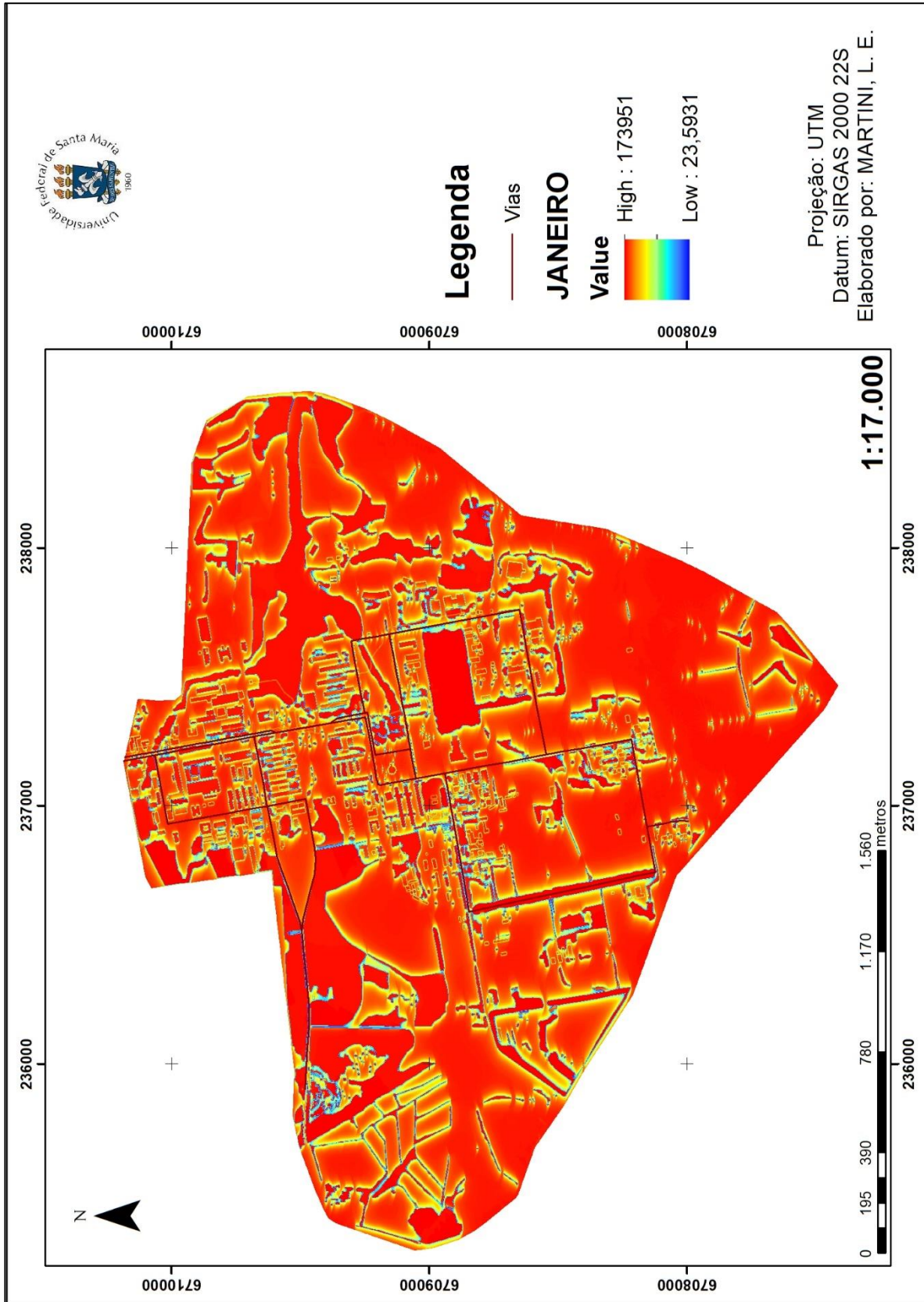
ANEXOS

ANEXO A – MÓDULO PADRÃO DOS PONTOS DE ÔNIBUS UFSM.



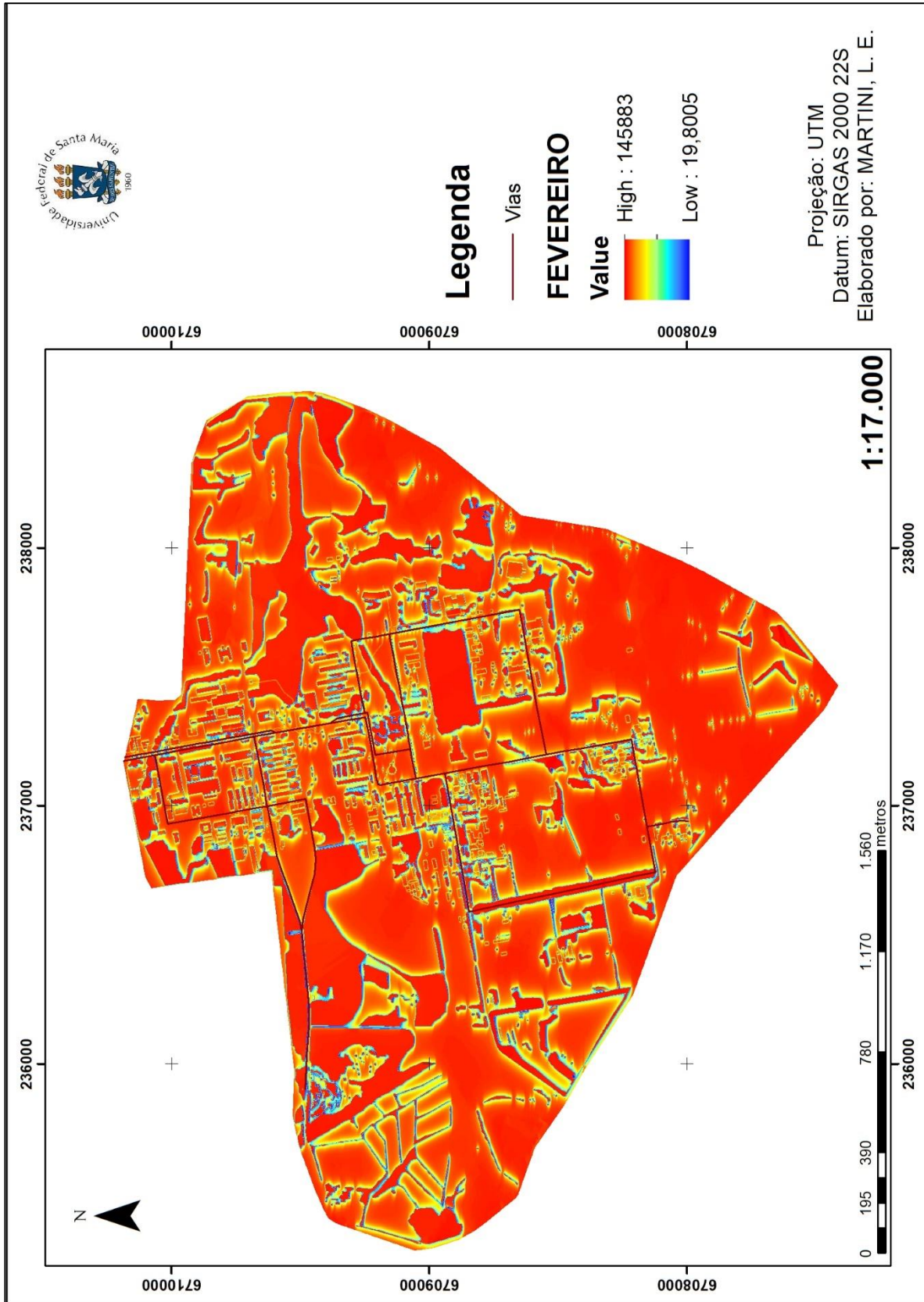
Fonte: Proinfra/UFSM (2015).

ANEXO B – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JANEIRO.



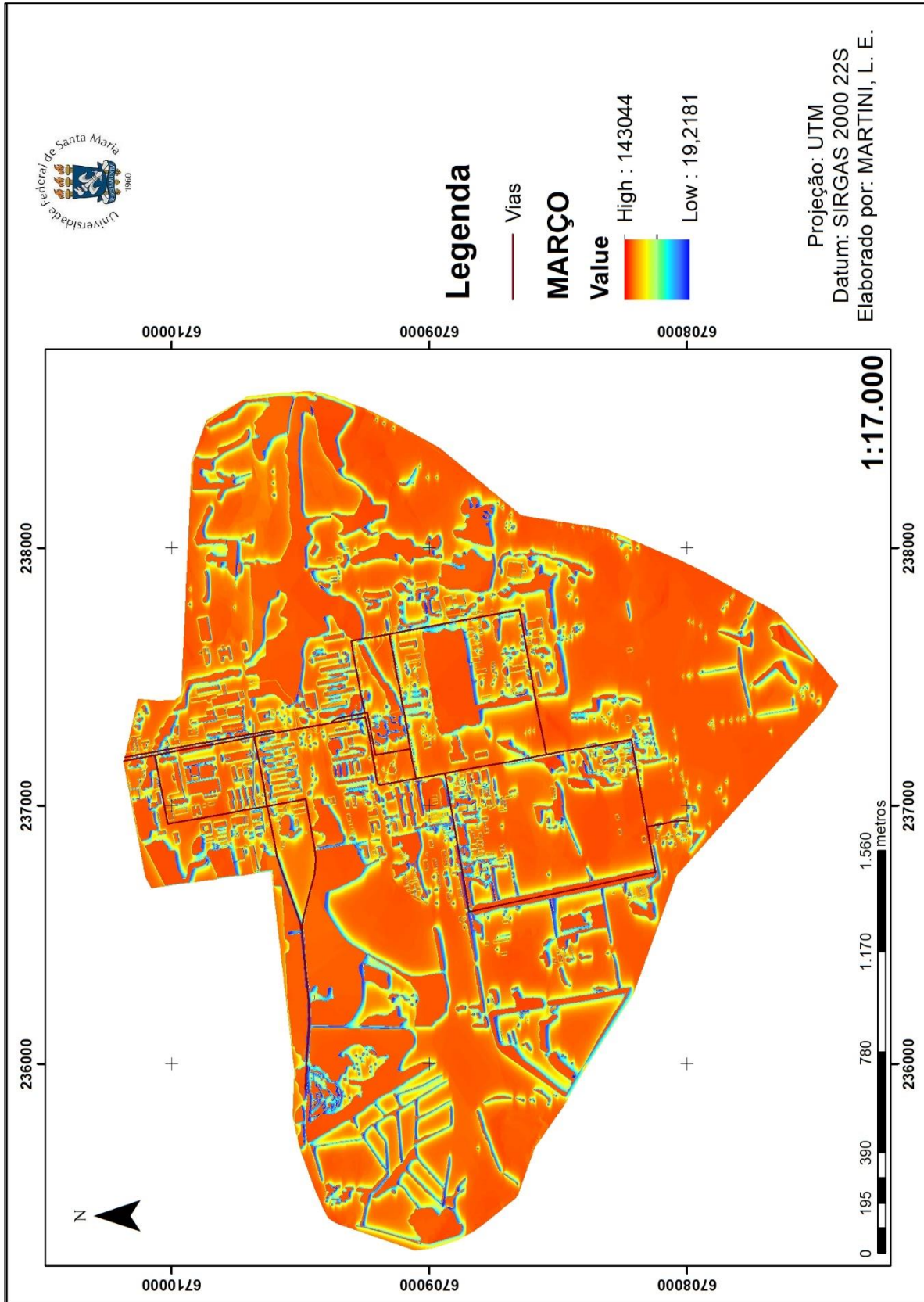
Fonte: Autora (2019).

ANEXO C – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE FEVEREIRO.



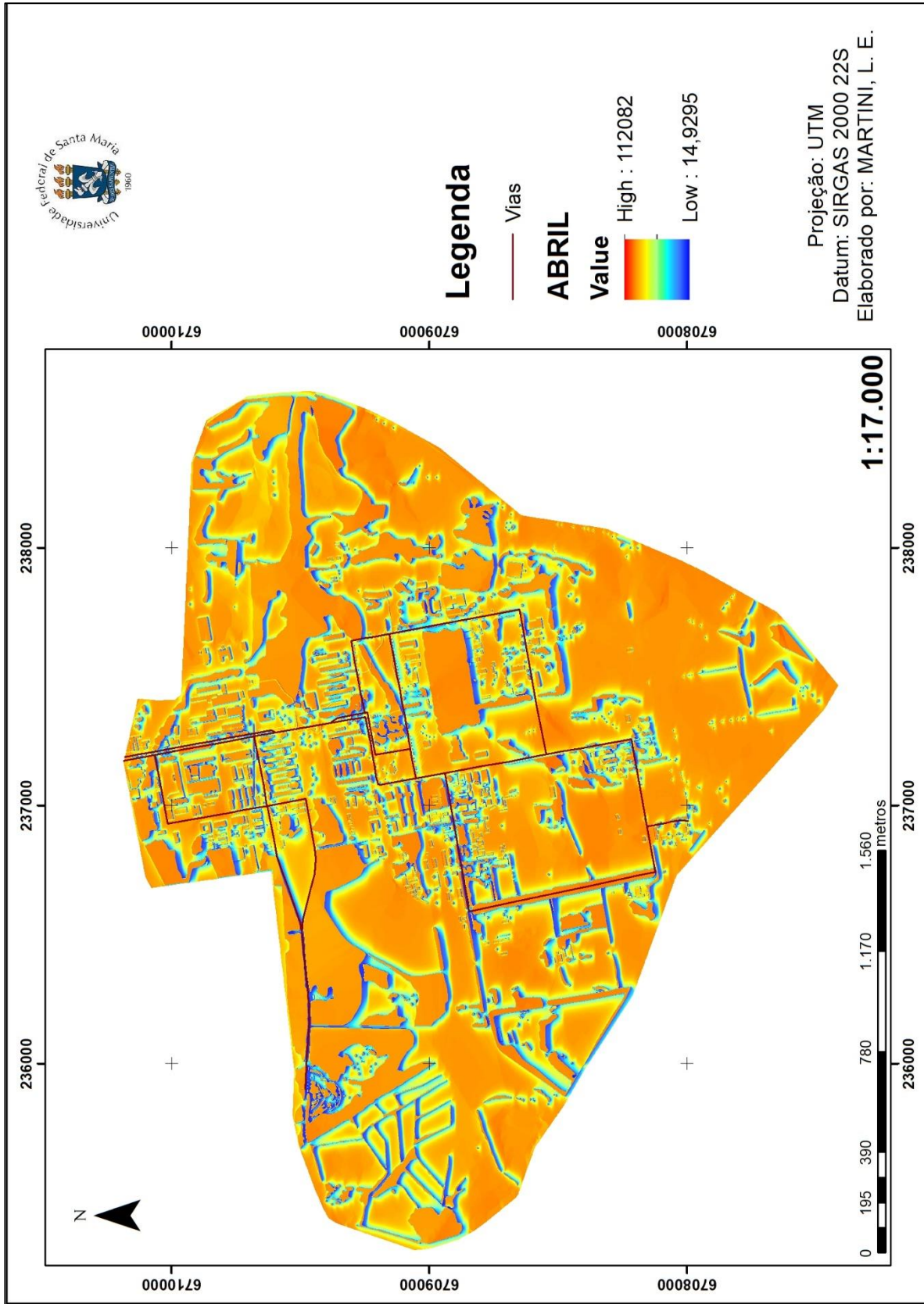
Fonte: Autora (2019).

ANEXO D – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE MARÇO.



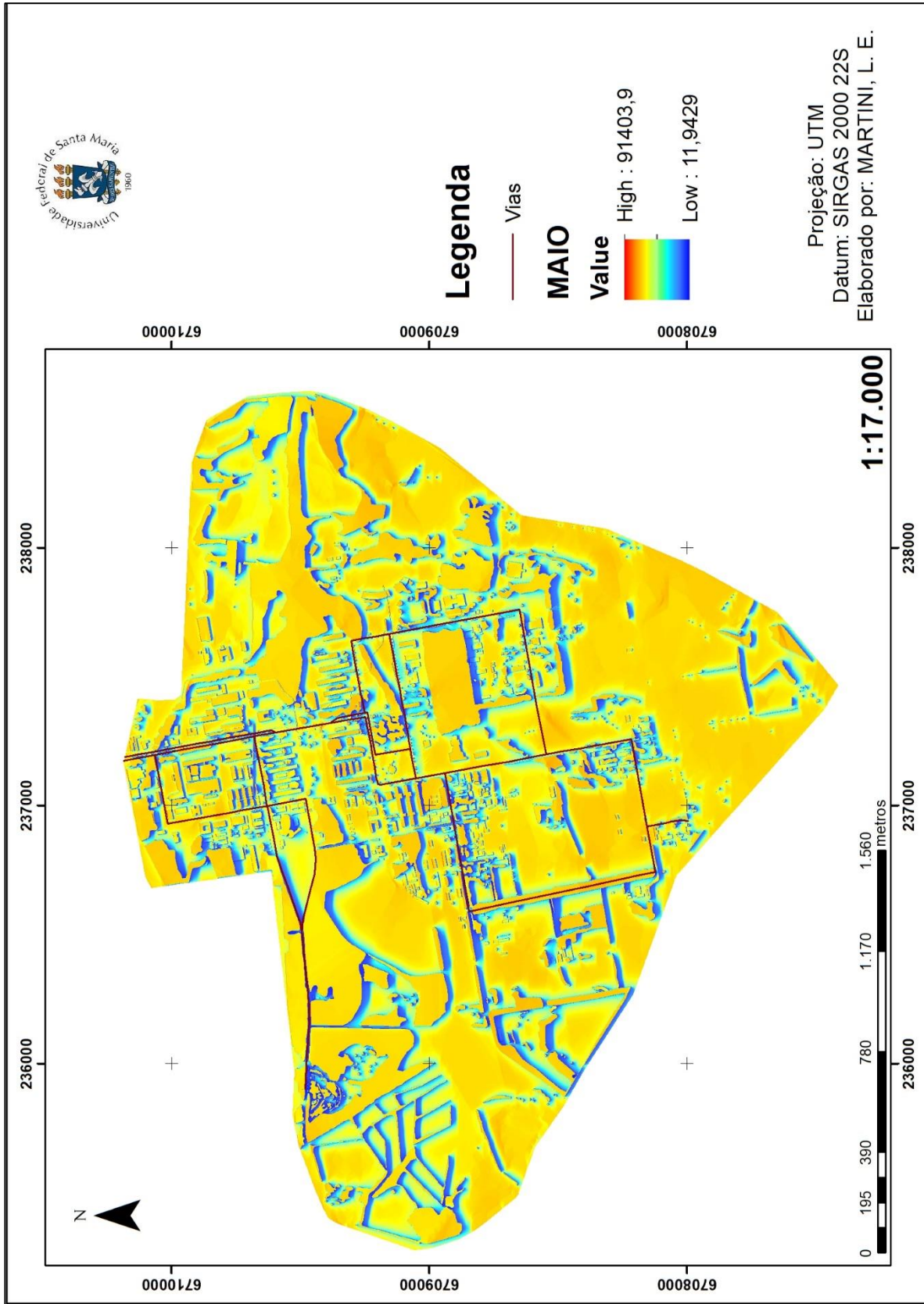
Fonte: Autora (2019).

ANEXO E – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE ABRIL.



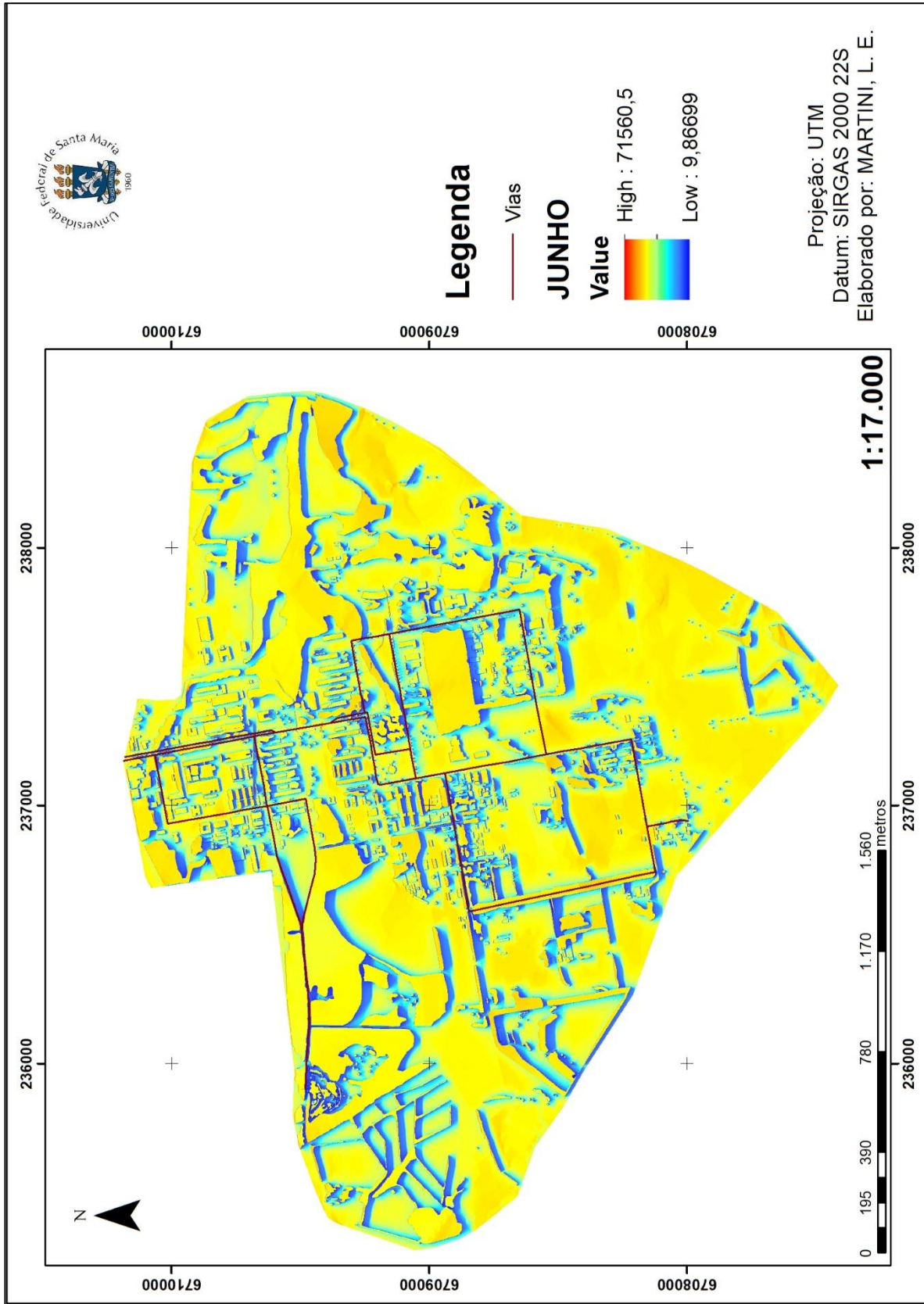
Fonte: Autora (2019).

ANEXO F – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE MAIO.



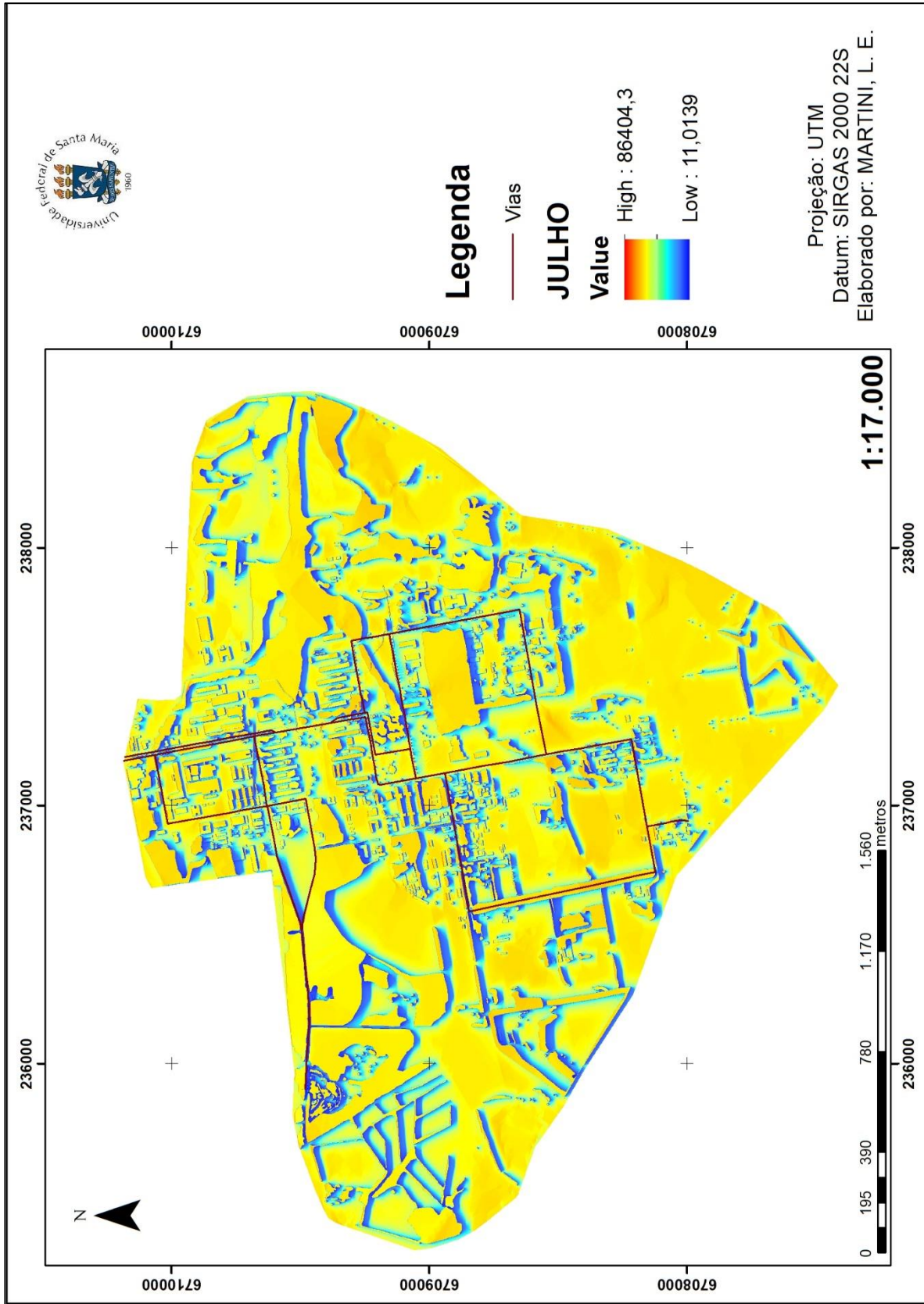
Fonte: Autora (2019).

ANEXO G – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JUNHO.



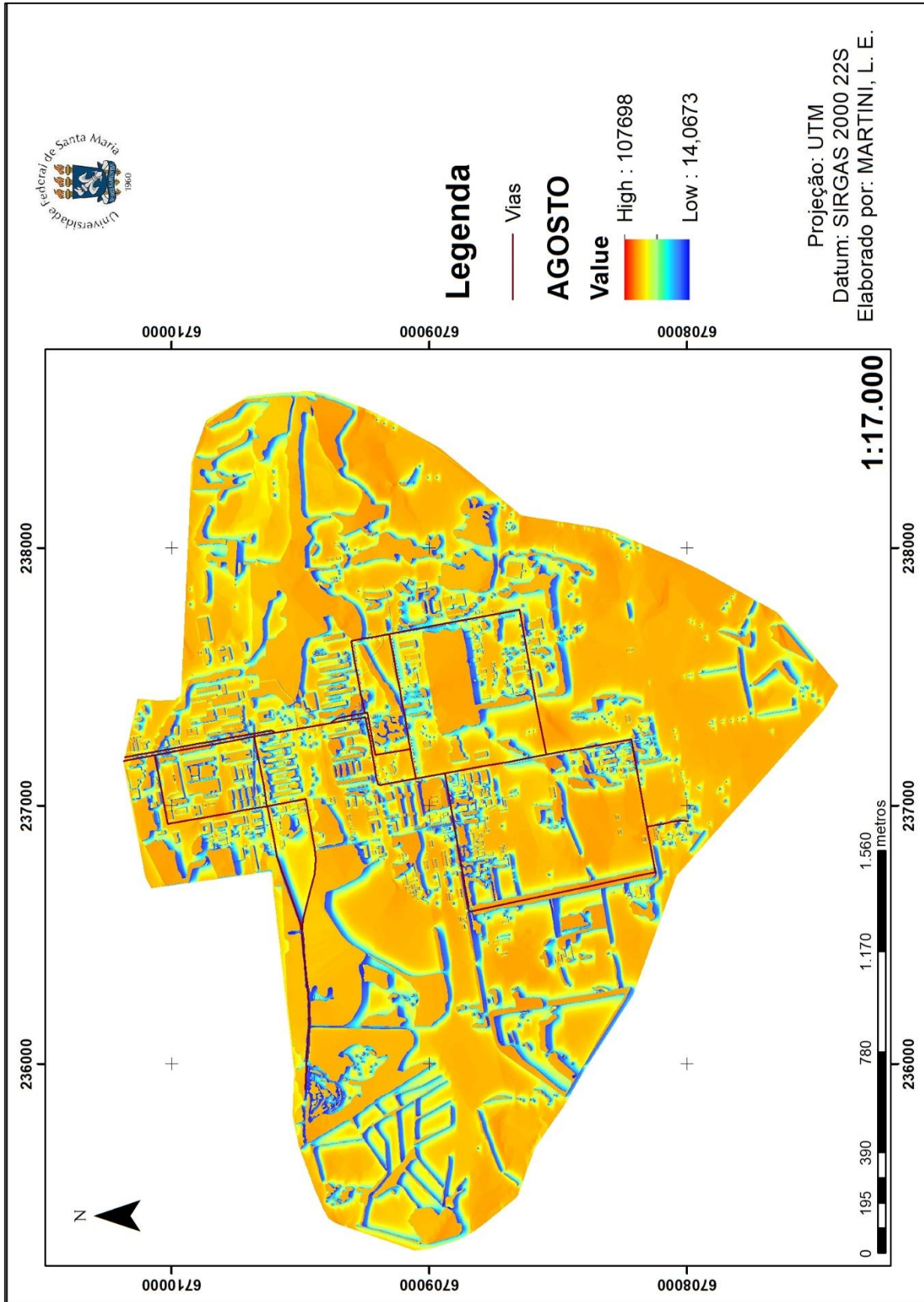
Fonte: Autora (2019).

ANEXO H – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE JULHO.



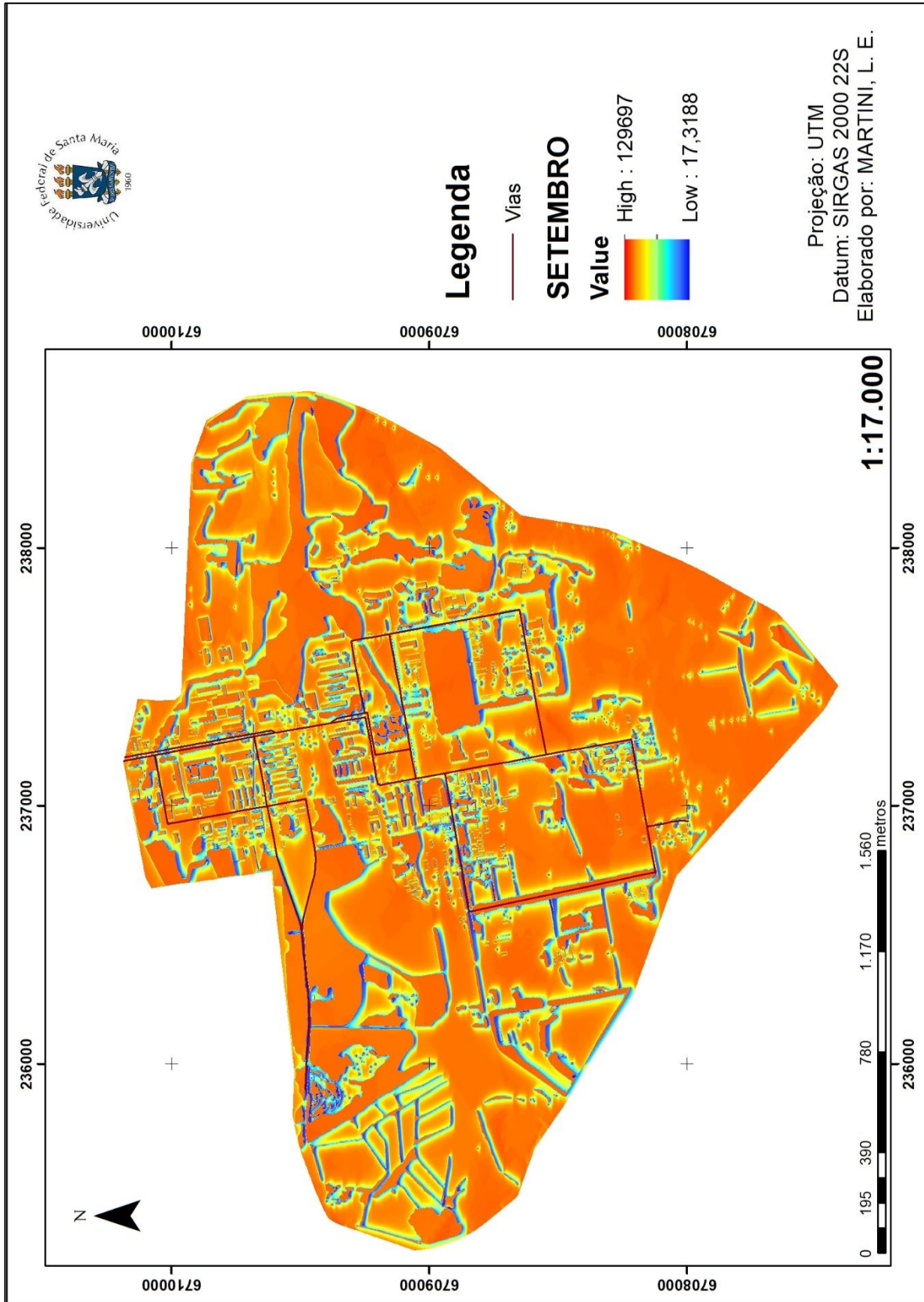
Fonte: Autora (2019).

ANEXO I – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE AGOSTO.



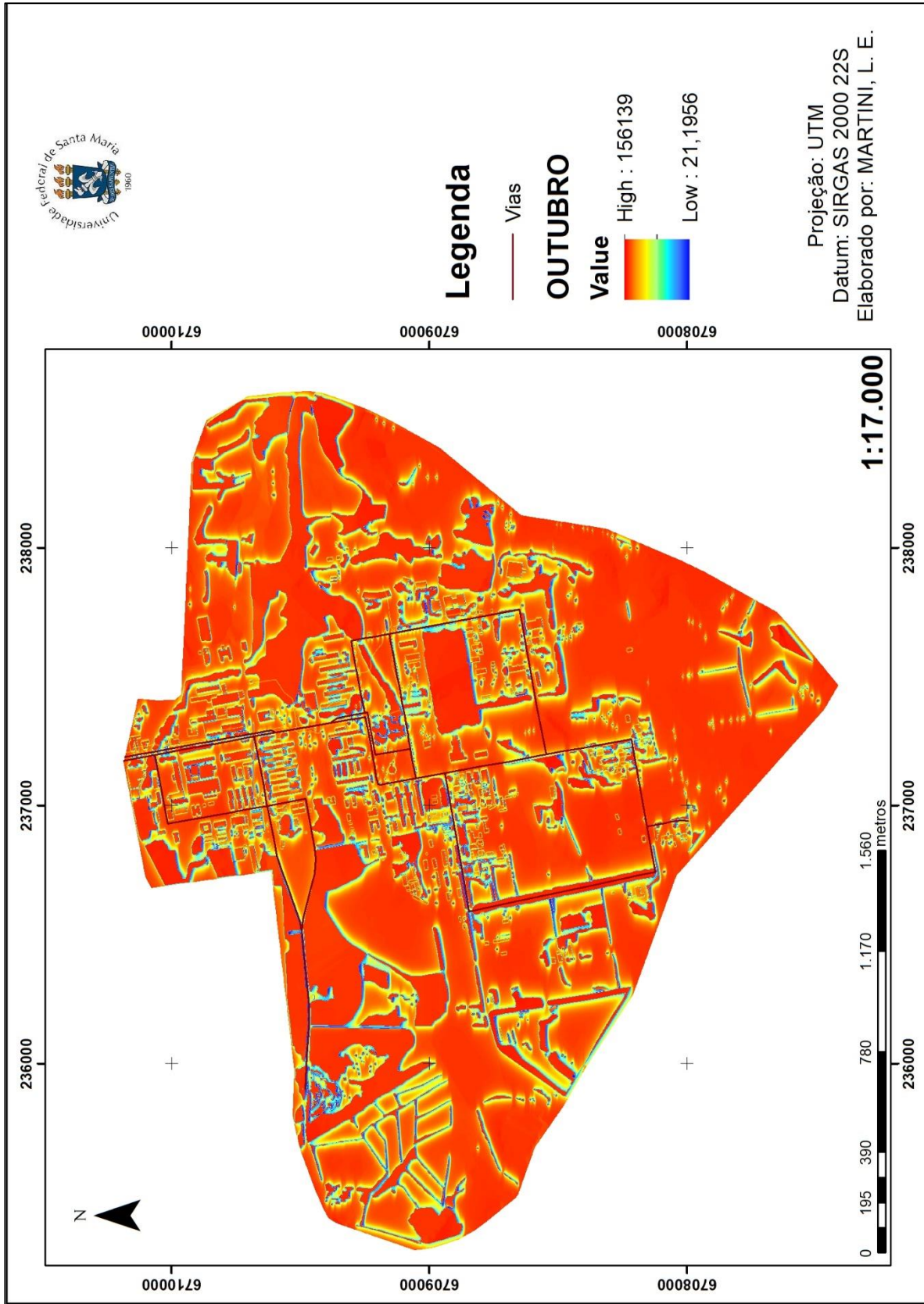
FONTE: AUTORA (2019).

ANEXO J – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE SETEMBRO.



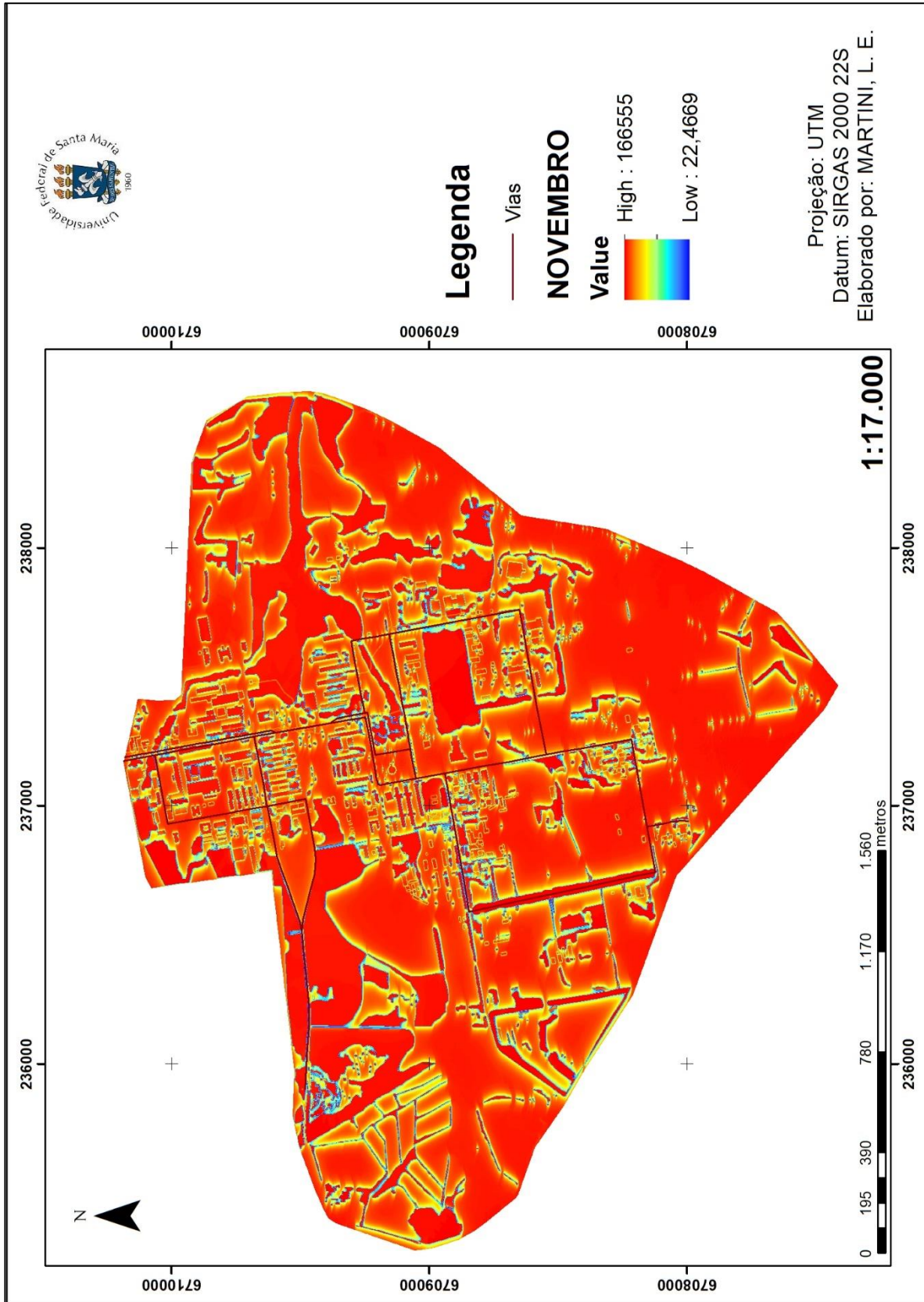
Fonte: Autora (2019).

ANEXO L – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE OUTUBRO.



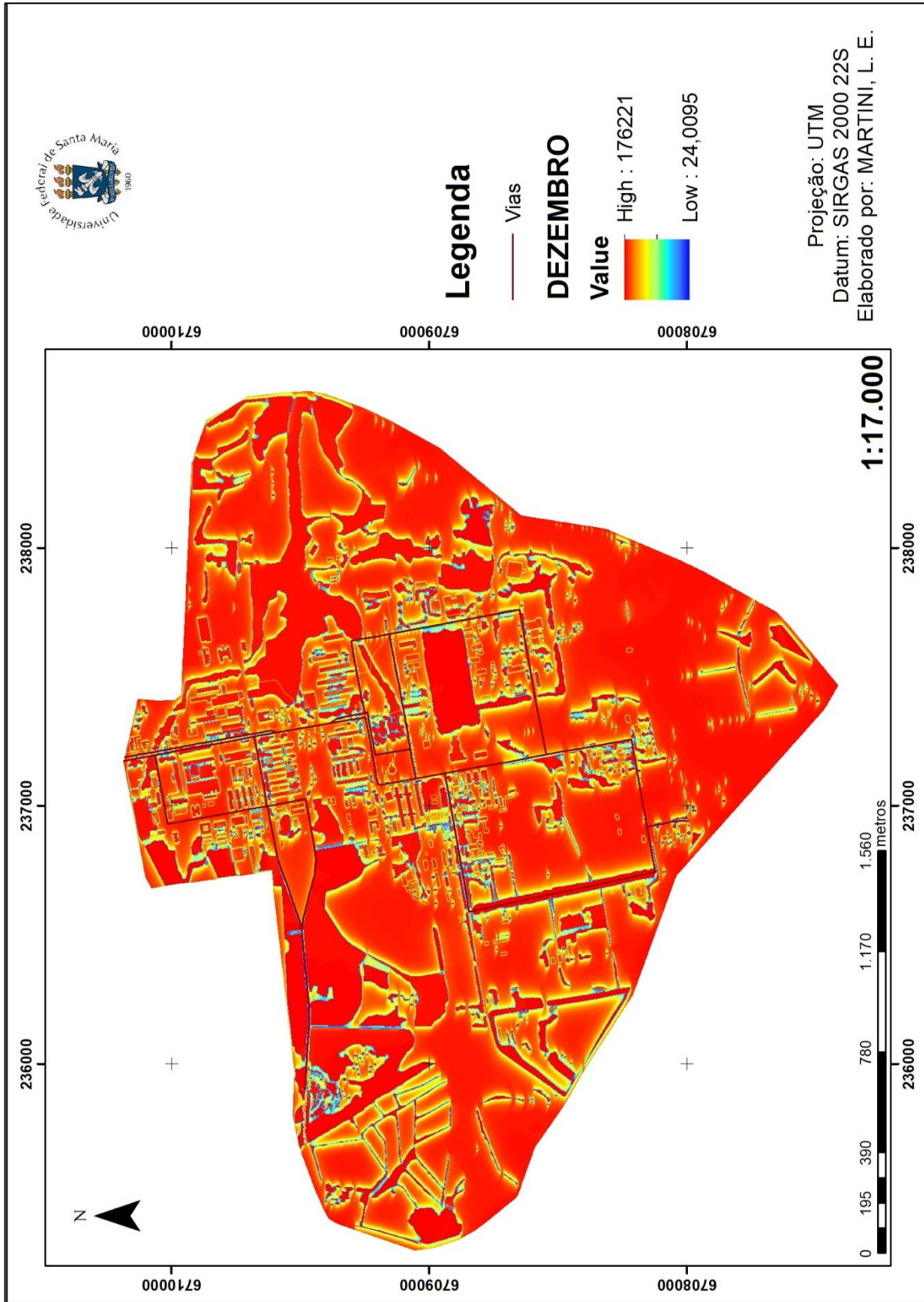
Fonte: Autora (2019).

ANEXO M – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE NOVEMBRO.



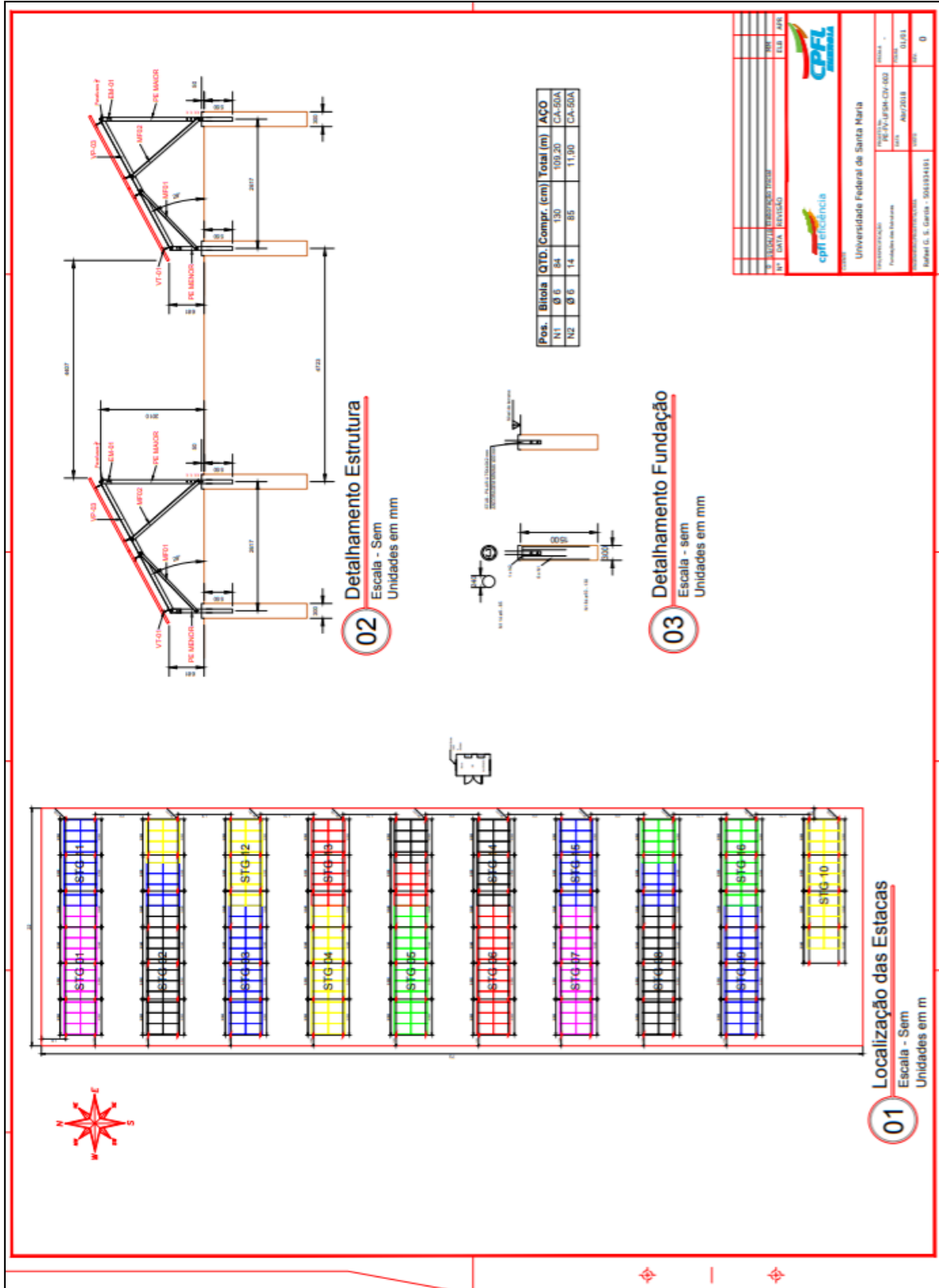
Fonte: Autora (2019).

ANEXO N – MAPA IRRADIAÇÃO SOLAR MÊS DE DEZEMBRO.



Fonte: Autora (2019).

ANEXO O – PROJETO USINA FV 100 KW ATIVA NO CAMPUS UFSM.



UNIVERSIDADE
 Faculdade de Engenharia

PROJETO: W-IV-UFSM-CV-402
 DATA: 04/2018
 FOLHA: 01/01
 TOTAL: 0

Elaborado por: Rafael S. Garcia - 5041934193

Fonte: INRI/UFSM (2018).