

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

JULIANA D'ANGELA MARIANO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA PARA REDUÇÃO DOS PICOS DE DEMANDA E
CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES DA UTFPR EM
CURITIBA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2017

JULIANA D'ANGELA MARIANO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA PARA REDUÇÃO DOS PICOS DE DEMANDA E
CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES DA UTFPR EM
CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGECC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Área de Concentração: Meio Ambiente. Linha de Pesquisa: Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M333a Mariano, Juliana D'Angela
2017 Análise do potencial da geração de energia fotovoltaica
 para redução dos picos de demanda e contribuição energética
 nas edificações da UTFPR em Curitiba / Juliana D'Angela
 Mariano.-- 2017.
 194 f.: il.; 30 cm.

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
 Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
 Civil, Curitiba, 2017.
 Bibliografia: p. 184-193.

 1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Sustentabilidade.
 3. Sistemas de energia fotovoltaica. 4. Geração de
 energia fotovoltaica. I. Urbanetz Junior,
 Jair. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III.
 Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação –
Câmpus Curitiba
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em
Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 104

ANÁLISE DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA REDUÇÃO DOS PICOS DE DEMANDA E CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES DA UTFPR EM CURITIBA

POR

JULIANA D'ANGELA MARIANO

Esta dissertação foi apresentada às 09h00min do dia 06 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio ambiente, linha de pesquisa de Sustentabilidade, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

(aprovado / reprovado)

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
(Orientador - UTFPR)

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
(UTFPR)

Prof. Dr. Rogers Demonti
(UFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade da vida, que sem dúvida é uma experiência extraordinária. Agradeço ao apoio, suporte e amor incondicional de meus pais, pois nunca mediram esforços para garantir que todos meus sonhos se tornassem possíveis, e também por investirem desde cedo na minha educação.

Ao professor Jair Urbanetz Junior pela sua imensa atenção e orientação incansável na realização desse trabalho, sempre com muita calma e tranquilidade me mostrando os “caminhos das pedras” desde muito antes de começar o mestrado, além de seus sábios conselhos de amigo nas horas difíceis.

Em especial ao Gabriel Wolanski Brito, que além de sua agradável companhia, carinho e apoio durante todo esse trabalho, auxiliou na escrita das primeiras linhas dessa dissertação e nas revisões textuais, sendo de grande valia.

A companhia do colega Fabio Fernando Kobs, que após ter convivido mais de um ano trabalhando juntos no Escritório Verde e ajudar nas inúmeras visitas técnicas deste, muito me ensinou sobre como refinar minha pesquisa.

Ao engenheiro Ramires Herrmann Mokwa, que disponibilizou as plantas baixas da UTFPR – câmpus Curitiba e me auxiliou na interpretação destas, e ao André Luis Macagnan, pelo fornecimento das faturas de energia elétrica e auxílio ao acesso a plataforma CAS Hemera da Copel, sem os quais esta dissertação não chegaria a esse nível de aprofundamento alcançado.

Ao professor Eloy Fassi Casagrande Junior, por disponibilizar o Escritório Verde como meu local de trabalho, possibilitando interação com estratégias de sustentabilidade e com a vida acadêmica. A arquiteta Ariane Stefania Tabatcheik, que dedicou com muita paciência suas horas no ensino dos comandos e criação de desenhos em 3D no *software Sketch Up*.

A Banca examinadora, pelo tempo investido nas contribuições para o aprimoramento da dissertação. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao colega Niklas Werner Weins, que além de trazer conhecimentos germânicos e do mundo para minha vida, contribuiu com a qualidade da dissertação a reta final. E finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

“Mestre não é quem sempre ensina, mas
quem de repente aprende.”
João Guimarães Rosa

RESUMO

MARIANO, Juliana D'Angela. **Análise do Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica para Redução dos Picos de Demanda e Contribuição Energética nas Edificações da UTFPR em Curitiba.** 2017. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A preocupação em alcançar o desenvolvimento sustentável está cada vez mais presente na construção civil, sendo este o setor que mais contribui com os maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa, devido ao grande consumo de energia e recursos naturais. Adicionalmente, os edifícios dependem de uma grande quantidade energética para aplicações cotidianas e em muitos países, as fontes são provenientes de fontes não-renováveis, causando dependência de combustíveis fósseis e conseqüentemente elevação nos índices de emissões de CO₂. Portanto, as “transições de sustentabilidade” mediante a aplicação de novos sistemas de energia renováveis, os quais apresentam emissões reduzidas, como por exemplo, a energia solar fotovoltaica, viabilizam essa mudança. Essa fonte de energia está cada vez mais presente na matriz energética mundial, seja pela aplicação de usinas fotovoltaicas de grande porte ou por meio de usinas geradoras de mini e microgeração incorporada às edificações, atuando como geração distribuída inserida no meio urbano. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo contribuir com redução da demanda, com a eficiência energética e a quantificação das emissões de CO₂ equivalente que podem ser evitadas com a energia gerada, por meio da utilização da energia fotovoltaica na UTFPR – câmpus Curitiba. A metodologia consiste na análise dos parâmetros de irradiação local horizontal e inclinada coletados por meio do portal do INMET, do Atlas Brasileiro de Energia Solar e do Piranômetro da UTFPR para aplicação do *software* Radiasol. Por sua vez, efetuou-se o estudo do perfil de cargas da instituição, a fim de identificar os momentos de maiores consumo e demanda por energia elétrica, através da seleção de dias típicos elencados no decorrer do ano. A análise das coberturas possibilitou o levantamento de áreas disponíveis e análise de sombreamento, e através dos dados gerados pelos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede existentes foram elaborados cenários, objetivando a contribuição energética do câmpus. Por fim, foram calculados os níveis de penetração energéticos, bem como o fator efetivo de capacidade de carga, quantificando o aumento da capacidade disponível da rede elétrica atribuída à geração fotovoltaica e as respectivas emissões evitadas. Os resultados obtidos mostram que a UTFPR - câmpus Curitiba apresenta um vasto potencial para a geração de energia fotovoltaica, sendo que a instituição poderia alocar um sistema com potência instalada total de 3,25 MW, e gerar um total anual de energia de 4,37 GWh. Com relação ao nível de penetração energético total calculado, obteve-se 489,97%, o que significa a ocorrência de injeção do excedente de energia fotogerada no sistema elétrico. Pode-se concluir que além da possibilidade de redução de custos com energia elétrica, existiria uma redução significativa nas emissões de GEE's referentes ao cálculo de CO₂ podendo evitar a emissão de 284,43 tCO₂ ao ano.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Sistema Fotovoltaico. Potencial Fotovoltaico. Contribuição Energética. Geração de Energia.

ABSTRACT

MARIANO, Juliana D'Angela. **Analysis of the Potential of the Photovoltaic Energy Generation to Reduce Peaks of Demand and Energy Contribution in the UTFPR Buildings in Curitiba.** 2017. 194 p. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The concern of achieving sustainable development is increasingly present in civil construction, which is the sector that shows the highest levels of greenhouse gas emissions due to its high consumption of energy and natural resources. Buildings use a large amount of energy in their day-to-day use, and in many countries this energy comes from non-renewable sources, causing dependence on fossil fuels and consequently increasing CO₂ emissions. "Sustainable transitions" make change possible through the application of new renewable energy systems, which present reduced emissions, e.g. solar photovoltaic energy. This energy source is increasingly present in the global energy matrix, both in large-scale photovoltaic plants and small- and micro-generation incorporated into buildings, acting as distributed generation in urban environments. The objective of this thesis is to contribute to a reduction in demand, with energy efficiency and to the quantification of equivalent CO₂ emissions that could be avoided with energy generated through the use of photovoltaic energy at UTFPR's Curitiba campus. The methodology consists of the analysis of horizontal and inclined local irradiation parameters collected through the INMET portal, the Brazilian Solar Energy Atlas and the piranometer at UTFPR, and in the application of the software Radiasol. The study of the load profile of the institution was carried out in order to identify periods of greater consumption and demand for electric energy, through the selection of typical days during the year. The analysis of the coverages allowed the survey of available areas and a shading analysis. Through the data generated by the existing grid-connected photovoltaic system, scenarios were elaborated to model the energy contribution of the three campus. Finally, the energy penetration levels and the effectiveness factor of the load capacity were calculated quantifying the increase of the available capacity of the electricity grid, attributed to the photovoltaic generation, as well as the respective emissions avoided. The results show that the Curitiba campus of UTFPR have a vast potential for the generation of photovoltaic energy, and the institution could allocate a system with a total installed power of 3.25 MW, generating an annual total of 4.37 GWh of energy. The calculated total energy penetration level of 489.97% was obtained, which implies the injection of a surplus of photo-generated energy into the electric system. It can be concluded that besides the possibility of reducing electricity costs, there would be a significant reduction in GHG emissions calculated at 284.43 tCO₂ per year.

Keywords: Sustainability. Photovoltaic System. Photovoltaic Potential. Energy Contribution. Power Generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O Ser-Humano e as Dimensões da Sustentabilidade	31
Figura 2 – Consumo Internacional de Energia em Edificações	33
Figura 3 – Universidade do Arizona	36
Figura 4 – Universidade Autônoma de Madrid	37
Figura 5 – Universidade de <i>Tongji</i>	38
Figura 6 – Escritório Verde da UTFPR.....	39
Figura 7 – Emissões dos GEE's no Reino Unido no Período de 1990 - 2014.....	43
Figura 8 – Participação de Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira	45
Figura 9 – Vista da Usina Hidrelétrica de Itaipu	46
Figura 10 – Vista da Usina Eólica de Geribatu.....	47
Figura 11 – Geologia do Complexo Geotérmico <i>The Geysers</i>	49
Figura 12 – Vista da Usina Maremotriz de <i>Sihwa Lake</i>	51
Figura 13 – Vista da Usina Solar Térmica de Mojave na Califórnia	53
Figura 14 – Vista da Usina Fotovoltaica <i>Solar Star</i>	55
Figura 15 – Efeito Fotovoltaico em um Semicondutor Ideal	57
Figura 16 – Detalhe de uma Célula Fotovoltaica.....	58
Figura 17 – Processo de Conversão Fotovoltaica.....	59
Figura 18 – Partes constituintes de um módulo fotovoltaico	61
Figura 19 – Hierarquia Fotovoltaica	61
Figura 20 – Esquema Típico de Dispositivos de Proteção	64
Figura 21 – Vista dos Campi da UTFPR - Curitiba.....	73
Figura 22 – Vista Aérea da Sede Centro.....	74
Figura 23 – Vista Aérea da Sede Ecoville	75
Figura 24 – Vista Aérea da Sede Neville.....	76
Figura 25 – Interface Inicial do Programa <i>Google Earth</i>	78
Figura 26 – Portal do INMET	80
Figura 27 – Atlas Brasileiro de Energia Solar e Dados de Irradiação Global Horizontal para Curitiba.....	82
Figura 28 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná	83
Figura 29 – Piranômetro Termoelétrico CMP 3 e Datalogger CR1000	85
Figura 30 – Tela Inicial do <i>Software</i> Radiasol com Exemplo Valores de	86
Figura 31 – Gráfico do Radiasol para Irradiação Média	87
Figura 32 – Interface da Plataforma CAS Hemera	88
Figura 33 – Gráfico da Irradiação Diária de Curitiba para o Mês de Março/2016.....	89
Figura 34 – Histograma para o Mês de Março/2016	90
Figura 35 – Gráfico da Irradiação Diária de Curitiba para o Mês de Junho/2016.....	91
Figura 36 – Histograma para o Mês de Junho/2016	92
Figura 37 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Mínima de Março	95

Figura 38 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Típica de Março	95
Figura 39 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Máxima de Março	96
Figura 40 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Mínima de Junho	97
Figura 41 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Típica de Junho	97
Figura 42 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um de Irradiação Máxima de Junho	98
Figura 43 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Mínima de Março.....	100
Figura 44 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Típica de Março.....	101
Figura 45 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Máxima de Março.....	101
Figura 46 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Mínima de Junho.....	102
Figura 47 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Típica de Junho.....	103
Figura 48 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí) de um Dia de Irradiação Máxima de Junho.....	103
Figura 49 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Mínima de Março.....	104
Figura 50 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Típica de Março.....	105
Figura 51 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Máxima de Março.....	105
Figura 52 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Mínima de Junho.....	106
Figura 53 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Típica de Junho.....	107
Figura 54 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Máxima de Junho.....	107
Figura 55 – Gráfico de Demanda da Sede Neoville de um Dia de Irradiação Mínima de Março	109
Figura 56 – Gráfico de Demanda da Sede Neoville de um Dia de Irradiação Típica de Março	110
Figura 57 – Gráfico de Demanda da Sede Neoville de um Dia de Irradiação Máxima de Março	110
Figura 58 – Gráfico de Demanda da Sede Neoville de um Dia de Irradiação Mínima de Junho	111
Figura 59 – Gráfico de Demanda da Sede Neoville de um Dia de Irradiação Típica de Junho	112

Figura 60 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Máxima de Junho	112
Figura 61 – Fachada Frontal do EV da UTFPR - Sede Centro	115
Figura 62 – Vista dos Painéis do EV e do Inversor - Sede Centro	115
Figura 63 - Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) no EV para os anos de 2012 a 2016	116
Figura 64 – Vista dos SFVCR e do Inversor da UTFPR - Curitiba	117
Figura 65 – Estrutura Metálica e Detalhe de Fixação dos Módulos	118
Figura 66 - Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) no SFVCR do Neville em 2016	119
Figura 67 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Centro.....	125
Figura 68 – Radiasol com Valores de Irradiação no Plano Horizontal da Sede Centro	127
Figura 69 – Vista da Sede Centro e Seu Entorno Construtivo em 3D.....	129
Figura 70 – Análise de Sombreamento da Sede Centro	130
Figura 71 – Áreas de Coberturas Seleccionadas da Sede Centro.....	131
Figura 72 – Módulo FV Escolhido e Especificações.....	132
Figura 73 – Espaçamento Mínimo Entre as Fileiras.....	132
Figura 74 – Fator de Espaçamento em Função da Latitude	133
Figura 75 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Março – Sede Centro)	136
Figura 76 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica – Março – Sede Centro) ..	137
Figura 77 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março – Sede Centro)	137
Figura 78 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Junho – Sede Centro)	138
Figura 79 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho – Sede Centro) ..	139
Figura 80 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho – Sede Centro)	139
Figura 81 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Ecoville	142
Figura 82 – Radiasol com Valores de Irradiação no Plano Horizontal da Sede Ecoville.....	143
Figura 83 – Vista da Sede Ecoville e Seu Entorno Construtivo em 3D	145
Figura 84 – Análise de Sombreamento da Sede Ecoville	146
Figura 85 – Áreas de Coberturas Seleccionadas da Sede Ecoville	147
Figura 86 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Março - Civil/Arq/Quí) ..	151
Figura 87 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Civil/Arq/Quí) ..	152
Figura 88 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Civil/Arq/Quí) ..	152
Figura 89 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Civil/Arq/Quí) ..	153
Figura 90 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Civil/Arq/Quí) ..	154
Figura 91 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Civil/Arq/Quí) ..	154
Figura 92 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Março - Mecânica).....	158
Figura 93 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Mecânica)	159

Figura 94 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Mecânica).....	160
Figura 95 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Mecânica).....	160
Figura 96 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Mecânica)	161
Figura 97 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Mecânica).....	161
Figura 98 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Neoville.....	164
Figura 99 – Vista da Sede Neoville e Seu Entorno Construtivo em 3D.....	166
Figura 100 – Análise de Sombreamento da Sede Neoville	167
Figura 101 – Áreas de Coberturas Selecionadas da Sede Neoville	168
Figura 102 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Março - Neoville)	172
Figura 103 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Neoville)	173
Figura 104 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Neoville)	174
Figura 105 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Neoville)	175
Figura 106 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Neoville)	176
Figura 107 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Neoville)	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eventos e Declarações Internacionais Mais Reconhecidos Referentes ao Desenvolvimento Sustentável	29
Tabela 2 – Dias Típicos Selecionados	93
Tabela 3 – Consumo Diário Total – Sede Centro.....	94
Tabela 4 – Consumo Diário Total – Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)	99
Tabela 5 – Consumo Diário Total – Sede Ecoville (Mecânica).....	99
Tabela 6 – Consumo Diário Total – Sede Neoville	108
Tabela 7 – Dados de Irradiação Global da Sede Centro	126
Tabela 8 – Dados de Irradiação no Plano Inclinado da Sede Centro.....	127
Tabela 9 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Centro	134
Tabela 10 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Centro	135
Tabela 11 – Cálculo do FECC Para a Sede Centro	141
Tabela 12 – Dados de Irradiação Global da Sede Ecoville	142
Tabela 13 – Dados de Irradiação no Plano Inclinado da Sede Ecoville	144
Tabela 14 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)	149
Tabela 15 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)	150
Tabela 16 – Cálculo do FECC Para a Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí).....	155
Tabela 17 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Ecoville (Mecânica)	156
Tabela 18 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Ecoville (Mecânica)	157
Tabela 19 – Cálculo do FECC Para a Sede Ecoville (Mecânica).....	163
Tabela 20 – Dados de Irradiação Global da Sede Neoville	164
Tabela 21 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Neoville	170
Tabela 22 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Neoville	171
Tabela 23 – Cálculo do FECC Para a Sede Neoville	178
Tabela 24 – Fator Médio Histórico das Emissões de CO ₂ do SIN.....	179

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CA	Corrente Alternada
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>
CC	Corrente Contínua
CEFET-PR	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
COP	Conferência das Partes
DACOC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
DAEFI	Departamento Acadêmico de Educação Física
DAQBI	Departamento Acadêmico de Química e Biologia
DEPRO	Departamento de Projetos
DESEG	Departamento de Serviços Gerais
DPS	Dispositivo de Proteção de Surto
DSV	Dispositivo de Seccionamento Visível
EV	Escritório Verde
FEEC	Fator Efetivo de Capacidade de Carga
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
FV	Fotovoltaica (o)
GEE's	Gases de Efeito Estufa
GD	Geração Distribuída
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MPP	Ponto de Máxima Potência
NP	Nível de Penetração
NPE	Nível de Penetração Energética
NTC	Norma Técnica da Copel
OECD	Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PET	Polietileno Tereftalato
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Paraná
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
TECSUS	Programa Tecnologia Sustentável
TEMA	Grupo Multidisciplinar de Pesquisa em Tecnologia e Meio Ambiente
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
US\$	Dólar Americano
gCO ₂	Gramas de Dióxido de Carbono Equivalente
°C	Graus Celsius
GW	Gigawatt
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt - Hora
kWp	Quilowatt - Pico
MJ	Mega Joule
MW	Megawatt
MWh	Megawatt - Hora
m ²	Metro Cuadrado
µV	Micro Volt
nm	Nanometro
%	Porcentagem
Mt	Toneladas Métricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	22
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	22
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo Geral.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 JUSTIFICATIVA.....	24
1.5 ESTRUTURA	25
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	26
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	26
2.1.1 Dimensões da Sustentabilidade.....	30
2.2 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	32
2.2.1 Universidades Sustentáveis.....	36
2.3 SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	41
2.3.1 Energias Renováveis	44
2.3.1.1 Hidroeletricidade	45
2.3.1.2 Energia eólica	47
2.3.1.3 Biomassa	48
2.3.1.4 Energia geotérmica	48
2.3.1.5 Energia dos oceanos	50
2.3.1.6 Energia solar	52
2.3.1.6.1 Energia solar térmica.....	52
2.3.1.6.2 Energia solar fotovoltaica	54
2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA.....	56
2.4.1 O Efeito Fotovoltaico.....	56
2.4.2 Célula Fotovoltaica	57
2.4.3 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.....	59
2.4.3.1 Módulo fotovoltaico	60
2.4.3.2 Inversor	62
2.4.3.3 Proteções elétricas.....	63
2.4.4 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica...64	
2.4.5 Legislação Vigente no Brasil.....	67
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	70
3.2 OBJETO DE ESTUDO DA PESQUISA: UTFPR - CÂMPUS CURITIBA.....	72
3.3 COLETA DE DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	76
3.3.1 Coordenadas Geográficas	77
3.3.2 Dados Solarimétricos.....	78

3.3.2.1	Dados solarimétricos do INMET.....	79
3.3.2.2	Banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar.....	81
3.3.2.3	Mapa fotovoltaico do estado do Paraná.....	83
3.3.2.4	Dados do piranômetro instalado na sede Centro da UTFPR.....	84
3.3.3	Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado	85
3.4	DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA DO CÂMPUS CURITIBA.....	87
3.4.1	Dias Típicos Selecionados.....	89
3.4.2	Dados de Energia da Sede Centro	93
3.4.2.1	Consumo de energia da sede Centro	94
3.4.2.2	Demanda de energia da sede Centro	94
3.4.3	Dados de Energia da Sede Ecoville.....	98
3.4.3.1	Consumo de energia da sede Ecoville.....	99
3.4.3.2	Demanda de energia da sede Ecoville.....	100
3.4.4	Dados de Energia da Sede Neoville	108
3.4.4.1	Consumo de energia da sede Neoville	108
3.4.4.2	Demanda de energia da sede Neoville	109
3.5	ANÁLISE DE COBERTURAS DO CÂMPUS CURITIBA.....	113
3.6	POTENCIAL DA GERAÇÃO FV NO CÂMPUS CURITIBA.....	114
3.6.1	Contribuição Energética do SFVCR da Sede Centro.....	114
3.6.2	Contribuição Energética do SFVCR Simulado para a Sede Ecoville.....	117
3.6.3	Contribuição Energética do SFVCR da Sede Neoville.....	117
3.7	ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL	120
3.7.1	Análise Referente à Sede Centro	122
3.7.2	Análise Referente à Sede Ecoville.....	122
3.7.3	Análise Referente à Sede Neoville	123
3.7.4	Emissões Evitadas – Câmpus Curitiba	123
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	124
4.1	ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE CENTRO	124
4.1.1	Coordenadas Geográficas	124
4.1.2	Irradiação Solar.....	125
4.1.3	Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado	127
4.1.4	Análise de Coberturas da Sede Centro	128
4.1.5	Cenário de Ampliação do SFVCR Existente na Sede Centro	132
4.1.6	Consumo de Energia	134
4.1.7	Demanda de Energia	135
4.1.8	Análise da Contribuição Energética	140
4.2	ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE ECOVILLE.....	141
4.2.1	Coordenadas Geográficas	141
4.2.2	Irradiação Solar.....	142
4.2.3	Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado	143
4.2.4	Análise das Coberturas da Sede Ecoville	144

4.2.5 Projeto do SFVCR para a Sede Ecoville – Civil, Arquitetura e Química	148
4.2.6 Consumo de Energia - Civil, Arquitetura e Química.....	149
4.2.7 Demanda de Energia – Civil, Arquitetura e Química.....	150
4.2.8 Análise da Contribuição Energética	155
4.2.9 Projeto do SFVCR para a Sede Ecoville – Bloco da Engenharia Mecânica ...	156
4.2.10 Consumo de Energia – Bloco da Engenharia Mecânica.....	157
4.2.11 Demanda de Energia – Bloco da Engenharia Mecânica	158
4.2.12 Análise da Contribuição Energética.....	162
4.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE NEOVILLE.....	163
4.3.1 Coordenadas Geográficas	163
4.3.2 Irradiação Solar.....	164
4.3.3 Análise das Coberturas da Sede Neoville.....	165
4.3.4 Cenário de Ampliação do SFVCR Existente na Sede Neoville	169
4.3.5 Consumo de Energia	170
4.3.6 Demanda de Energia	171
4.3.7 Análise da Contribuição Energética	177
4.4 EMISSÕES EVITADAS.....	179
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	180
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS	183
REFERÊNCIAS.....	184

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um conceito que enuncia a preservação de um sistema onde as necessidades são atendidas, os recursos são explorados de forma consciente, e as gerações futuras não são comprometidas. Para considerar algo sustentável, é preciso analisar a necessidade atual, assim como traçar uma projeção de necessidade futura, relacionando isso com a forma como os recursos foram utilizados no passado, e como estão sendo utilizados agora e como serão utilizados futuramente (MIKHAILOVA, 2004).

Este conceito parte de um ponto onde as necessidades irão aumentar, e os recursos obrigatoriamente deverão ser utilizados com inteligência e senso de preservação, a fim de manter o suprimento das necessidades ininterrupto. “É o desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender às próprias necessidades” (UNITED NATIONS, 1987, p.16).

Neste momento, a capacidade de atender essas necessidades sem que haja o comprometimento com gerações futuras se dá a partir do desenvolvimento sustentável. O conceito de desenvolvimento sustentável pode ser definido como a capacidade de melhoramento da qualidade de todas as formas de vida na Terra e ao mesmo tempo respeitando a capacidade de produção dos ecossistemas existentes (MIKHAILOVA, 2004).

O desenvolvimento sustentável está fundamentado em três pilares de sustentação, o qual requer integração de ações nas áreas de: crescimento e equidade econômica, conservação dos recursos naturais e do meio ambiente e desenvolvimento social (HÁK *et al.*, 2016). Respectivamente, estes eixos se referem à promoção do crescimento econômico responsável em longo prazo, redução de consumo de recursos, de emissões e conservação do meio ambiente, e por fim, à erradicação da pobreza e promoção humana (MIKHAILOVA, 2004).

A educação tem sido reconhecida como ferramenta vital para alcançar desenvolvimento sustentável (ANAND *et al.*, 2015). Além disso, esse desenvolvimento se acentua a medida que aumenta a formação das pessoas e a capacidade moral, somada à alta habilidade criativa capaz de solucionar problemas

complexos de desenvolvimento considerando os efeitos sistêmicos a longo prazo, os únicos que podem encontrar solução para a crise mundial (NASIBULINA, 2015).

Diversas instituições de ensino e pesquisa, bem como as universidades, estão constantemente envolvidas na resposta às novas exigências da sociedade e organizações interessadas. Sob tal perspectiva, é possível supor que estas instituições estão engajadas a dar continuidade à transformação e adaptação de sua estrutura, funções e governança de acordo com as mudanças sociais, ambientais e desafios econômicos deste século (BEYNAGHI *et al.*, 2016).

Estes desafios estão diretamente vinculados na manutenção e desenvolvimento da promoção humana, em que a energia é um fator fundamental dentre todos os esforços feitos para atingir o desenvolvimento sustentável. A energia é essencial para erradicar a pobreza, aumentar o bem-estar e elevar o padrão de vida (VERA; LANGLOIS, 2007). Deste modo, a principal tarefa do desenvolvimento sustentável é viabilizar o fornecimento adequado e confiável de energia a preços acessíveis sendo de forma segura e ambientalmente amigável de acordo com as necessidades de desenvolvimento social e econômico (STREIMIKIENE; SIKSNELYTE, 2016).

A geração de energia elétrica, conseqüentemente, enfrenta este desafio da sustentabilidade, onde existe uma demanda em constante crescimento. Para atender este desafio, o desenvolvimento deve seguir um conjunto de medidas dentre elas, as fontes devem ser renováveis, a produção deve respeitar o meio ambiente e os seres vivos e viabilizar a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE's).

Segundo as Nações Unidas, em plano de implementação desenvolvido na Cúpula Mundial de Desenvolvimento Sustentável (*World Summit Sustainable Development*) de 2002, em Johanesburgo, um dos objetivos é a tomada de ações em busca da produção de energia economicamente viável, socialmente aceitável, vinda de fontes sustentáveis. Dentro desse contexto, se encontram a energia solar, a eólica, a biomassa, a energia dos oceanos, geotérmica, hidráulica dentre outras que são fontes renováveis. Essas fontes de energia contribuem com a diversificação da matriz energética mundial, viabilizando as ações mencionadas.

A matriz elétrica brasileira apresenta um caráter renovável, predominantemente hidráulica com 64% de representatividade de acordo com Balanço Energético Nacional de 2016 realizado pela Empresa de Pesquisa

Energética. Em contrapartida, a participação de usinas solares fotovoltaicas de maior porte apresentam apenas 0,02% na matriz elétrica brasileira, contando com 42 empreendimentos em operação, totalizando aproximadamente 23 MWp de potência fiscalizada, ou seja, aferida quando a primeira unidade geradora entra em operação comercial (ANEEL, 2017a). Quanto aos sistemas de micro e minigeração cadastrados no sistema de compensação de energia junto a ANEEL, houve a implementação de 7.689 unidades fotovoltaicas geradoras no Brasil até janeiro de 2017, totalizando aproximadamente 75 MWp (ANEEL, 2017b), dessa forma totalizando cerca de 98 MWp de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) no Brasil.

Dentre as fontes renováveis citadas, a energia solar fotovoltaica apresenta destaque peculiar, pois é a mais abundante, inesgotável e limpa de todas as formas de energia renovável. A potência emitida pelo Sol que é interceptada pela Terra é cerca de $1,8 \times 10^{11}$ MW, o que é muitas vezes maior do que a taxa atual da demanda energética mundial (PARIDA *et al.*, 2011). Logo, a energia solar fotovoltaica é uma das formas mais elegantes de gerar potência elétrica (RÜTHER, 2004).

Portanto, a possibilidade de geração de energia empregando módulos fotovoltaicos pode contribuir de forma significativa com a redução de emissões e conservação do meio ambiente. Além da aplicação em usinas geradoras de energia, os módulos fotovoltaicos podem ser instalados em edifícios, edificações residenciais, regiões isoladas, indústrias e comércios, possibilitando a integração da geração ao ponto de consumo (URBANETZ JUNIOR, 2010).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica apresenta um extenso potencial a ser explorado devido à sua posição geográfica privilegiada, apresentando níveis de irradiação superiores aos de países desenvolvidos. A região Nordeste do país apresenta excelentes níveis de irradiação solar, principalmente no semiárido, enquanto que a região Sul, os mais altos índices de irradiação solar ocorrem nos meses de verão, coincidindo com o período de estiagem na região e com o período de maior demanda energética dessa parte do país (MONTENEGRO, 2013).

Desde 17 de abril de 2012, o Brasil possui uma regulamentação específica para geração distribuída de energia, a Resolução Normativa 482 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em que os consumidores podem gerar sua própria energia por meio de energias renováveis. Deste modo, as unidades

consumidoras atuam como geradoras, pois não havendo o consumo no momento em que a geração de energia ocorre, esta poderá ser injetada na rede elétrica local, originando um crédito de energia. Este crédito poderá ser utilizado posteriormente, abatendo o consumo nesta ou em outra unidade consumidora presentes na mesma área de concessão e que sejam do mesmo titular (ANEEL, 2016a).

Conforme Tiepolo (2015), o estado do Paraná apresenta um enorme potencial existente se comparado a outros estados e regiões do Brasil e com a Europa. O nível médio de irradiação solar no estado é de 1.986 kWh/m².ano, com a maior média ocorrendo no mês de março, sendo a média do Paraná aproximadamente 59% superior à média apresentada na Alemanha, que tem índices médios de irradiação solar equivalente a 1.251 kWh/m².ano, sendo até 2014 o país com maior capacidade instalada mundial. Entretanto, em 2015 esta marca foi superada pela China conforme relatório da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016). Com relação à produtividade estimada total anual média, considerando a inclinação do painel fotovoltaico igual à latitude local, orientação para o norte e taxa de desempenho de 75%, o Paraná apresenta produtividade equivalente a 1.490 kWh/kWp, enquanto que a produtividade estimada total anual média da Alemanha é de 938 kWh/kWp.

Neste sentido, seguindo a proposta de ações para o desenvolvimento sustentável, diversas estratégias foram adotadas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com a construção do Escritório Verde (EV) no ano de 2011. Essa edificação é modelo em sustentabilidade, localizada na sede Centro da UTFPR, e foi inaugurada em dezembro de 2011. Dentre as diversas estratégias de sustentabilidade, o EV apresenta um SFVCR operando desde sua inauguração até a presente data de forma ininterrupta tendo acompanhamento contínuo (CASAGRANDE *et al.*, 2012) (URBANETZ JUNIOR *et al.*, 2014) (URBANETZ JUNIOR *et al.*, 2015).

Diante disso, essa pesquisa visa contribuir com o planejamento da geração de energia elétrica, de forma sustentável e segura, reforçando o papel da universidade como disseminadora do conhecimento, aproximando os estudantes de práticas voltadas para a sustentabilidade. A pesquisa se limita à UTFPR, câmpus Curitiba, mediante análise do potencial de geração fotovoltaica integrada à edificação e interligada à rede elétrica, respondendo a seguinte questão:

A inserção de SFVCR é capaz de reduzir e aliviar os picos de demanda energética bem como contribuir com a redução do consumo de energia elétrica na edificação?

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema se restringe a analisar o potencial de geração fotovoltaica da instituição relacionando as curvas de geração fotovoltaica e níveis de penetração energética, que serão elaboradas a partir do SFVCR implantado na UTFPR e dos cenários propostos, atuando ainda na redução da demanda e contribuição energética e na quantificação das emissões de CO₂ equivalente que podem ser evitadas com a energia gerada.

1.2 PROBLEMAS E PREMISAS

Inicialmente, existe o desafio em alcançar o binômio desenvolvimento sustentável e isso só é possível quando se agrega a disseminação adequada do conhecimento ao crescimento econômico sustentável. Nesse contexto, a energia é incluída como fator fundamental para alcançar o desenvolvimento sustentável respeitando as seguintes premissas: fornecimento adequado e confiável de forma que a geração seja viabilizada. A geração fotovoltaica, ainda que não apresente preços tão atrativos, respeita esses requisitos e pode ser vista como alternativa sustentável ao problema em questão.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente hidráulica, que apesar de renovável, apresenta impactos relacionados principalmente a fase de instalação, pois demanda grandes alagamentos de áreas prejudicando a fauna e flora, deslocamento de áreas urbanas, além de afetar a geologia, geomorfologia e a hidrologia. As hidroelétricas produzem ainda gases prejudiciais, devido a decomposição do material orgânico existente nas áreas que foram alagadas pelo

reservatório, contribuindo para as mudanças climáticas em decorrência do aumento dos GEE's na atmosfera (MARIANO *et al.*, 2016a).

Logo, gerar energia elétrica por meio de fontes renováveis com menor dano ambiental se tornou um grande desafio para alcançar o desenvolvimento sustentável. Com a inserção da geração fotovoltaica distribuída, existe a possibilidade de redução da necessidade de áreas a serem devastadas para a expansão da geração de energia, reduzindo impactos ambientais e as emissões de GEE's.

Além disso, a geração de energia por meio de grandes centrais geradoras apresenta problemas relacionados à transmissão e distribuição, pois apresenta perdas ao longo desses processos. Com a implementação da Resolução Normativa 482 pela ANEEL, os SFVCR estão sendo incorporados a telhados e fachadas, e podem injetar o excedente na rede elétrica de distribuição aliviando a rede elétrica local, evitando a construção de novas centrais geradoras.

Mesmo com toda a facilidade de instalação e normas adequadas ao funcionamento desses sistemas, a maior barreira para impulsionar uma participação efetiva dessa fonte renovável na matriz elétrica brasileira é o custo elevado desse sistema. As universidades e centros de pesquisas podem dar sua contribuição no alcance da viabilidade nas diversas formas de geração renovável devido à sua atuação como disseminadora de conhecimento e desenvolvimento tecnológico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial de geração fotovoltaica aplicada à edificação e interligada à rede elétrica, sob diferentes cenários propostos, a fim de estruturar uma metodologia de projeto adequada para a contribuição energética e redução dos picos de demanda através da inserção desses sistemas na UTFPR – câmpus Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a característica do consumo de energia elétrica da edificação ao longo do ano, a partir da análise das leituras de memória de massa fornecidas pela concessionária;
- Quantificar a contribuição energética dos SFVCR propostos para todas as sedes (Centro, Ecoville e Neoville), analisando os cenários possíveis;
- Calcular e analisar o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), quantificando a capacidade da geração fotovoltaica em contribuir efetivamente na redução dos picos de demanda, por meio de estudos das curvas de geração, penetração e cargas;
- Quantificar as reduções de emissões de GEE's e impactos ambientais com a geração descentralizada de energia.

1.4 JUSTIFICATIVA

Devido às diversas características, principalmente pelo baixo impacto ambiental na sua fase de operação, a energia solar fotovoltaica se apresenta como uma das mais promissoras formas de geração de energia. Assim, a questão ambiental é a maior motivadora na disseminação de estratégias sustentáveis, as quais empregam energias renováveis como alternativa à diminuição de impactos e emissões causadas pelas formas tradicionais de geração de energia.

Além do baixo impacto na fase de operação, esses sistemas apresentam diversas facilidades como: instalação junto ao ponto de consumo, ausência de peças móveis, baixo índice de manutenção, geram energia elétrica imediatamente após a instalação, operam silenciosamente e com alta confiabilidade em paralelo a rede elétrica local, além de serem modulares permitindo a expansão dos sistemas ou reinstalação em outros locais (URBANETZ JUNIOR, 2010). Isso faz com que a energia solar fotovoltaica seja tecnicamente viável e uma estratégia sustentável a ser considerada na geração de energia elétrica.

O estado do Paraná, como mencionado anteriormente, apresenta favoráveis índices de irradiação solar juntamente com recurso hídrico abundante. Entretanto, a

geração hidráulica apresenta variação na sua operação, pois depende dos níveis de água dos reservatórios, os quais sofrem interferências quando há estiagem em certas épocas do ano. Logo, aproveitar o potencial solar para produção de energia no Paraná significa reduzir a dependência do recurso hídrico, ampliando a diversificação da matriz energética por meio de fontes renováveis.

Por fim, universidades, instituições de ensino e pesquisa exercem uma importante função na sociedade com a promoção humana, pois além de atuar como disseminadoras do conhecimento e desenvolvimento tecnológico, aplicando conceitos teóricos com a prática acadêmica, permitem o maior conhecimento técnico sobre novas formas de se alcançar o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, a proposta do presente estudo se aplica, pois contribui com o desenvolvimento tecnológico e disseminação do conhecimento buscando o desenvolvimento sustentável, que é objeto desse trabalho.

1.5 ESTRUTURA

- Capítulo 1: Introdução. Aborda a delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos (geral e específico) e a justificativa.
- Capítulo 2: Revisão da literatura. Sustentabilidade: contextualização, definição de conceitos, o desenvolvimento sustentável, e a geração de energia. As energias renováveis, definições, panorama mundial e brasileiro e emissões de cada fonte. Energia solar fotovoltaica: aborda conceitos fundamentais, dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e legislação vigente no Brasil.
- Capítulo 3: Procedimentos metodológicos da pesquisa: a metodologia da pesquisa, incluindo o método de abordagem e de procedimento, os dados coletados, cenários de inserção de geração fotovoltaica e parâmetros de análise dos resultados obtidos.
- Capítulo 4: Resultados. São apresentados os resultados e as análises e interpretações embasadas na literatura.
- Capítulo 5: Conclusão. Considerações finais, potenciais contribuições desta pesquisa e sugestões de estudos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo das últimas décadas, a evolução do binômio desenvolvimento sustentável tem sido marcada por diversos acontecimentos. Em 1968, o primeiro encontro pautado nesse tema, surgiu quando um pequeno grupo internacional formado por intelectuais e empresários, denominado Clube de Roma, iniciou discussões referentes à preocupação com a adoção de estratégias sustentáveis para preservação de recursos naturais e desenvolvimento econômico (LIMA, 2013).

Conforme Gonçalves (2005), o grupo lançou os primeiros estudos científicos referentes à preservação ambiental relacionando quatro grandes questões que deveriam ser solucionadas para o alcance da sustentabilidade: controle do crescimento populacional, controle do crescimento industrial, insuficiência da produção de alimentos e o esgotamento dos recursos naturais, por meio da obra intitulada “Os Limites do Crescimento” publicada em 1972 (MEADOWS, 1972).

No mesmo ano, “o conceito toma um grande impulso no debate mundial, atingindo o ponto culminante na Conferência das Nações Unidas de Estocolmo” na Suécia sobre o Meio Ambiente Humano (GONÇALVES, 2005, p.2). O evento reuniu 113 Estados-Membros das Nações Unidas, bem como membros de agências especializadas e teve como um dos resultados a criação do Programa das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (UNITED NATIONS, 1972). Nesse encontro, os principais pontos de reflexão dos líderes e autoridades foram a preocupação com as gerações futuras e o meio ambiente, problemas como escassez de recursos naturais, mudanças climática, emissões de gases prejudiciais a saúde visando uma nova relação entre ser humano-meio ambiente.

Anos depois em 1987, a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas, na Noruega, organizou um documento denominado “Nosso Futuro Comum” conhecido também como Relatório *Brundtland*, em que houve comprometimento de governos internacionais na promoção do desenvolvimento econômico-socioambiental. Esse documento exibe uma das definições mais conhecidas de desenvolvimento sustentável sendo “o desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade

das futuras gerações de atender às próprias necessidades” (UNITED NATIONS, 1987, p.16).

Entretanto, somente a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada entre 3 a 14 de Julho de 1992 no Rio de Janeiro, também conhecida como Cúpula da Terra, foi que o desenvolvimento sustentável passou a ser o tema de destaque principal de política ambiental (MIKHAILOVA, 2004). A conferência contou com a participação de 191 países, bem como organizações internacionais e instituições de iniciativa privada reconhecendo o papel da avaliação de impacto na busca pelo desenvolvimento sustentável (SÁCHEZ; CROAL, 2012).

Esse evento reafirmou a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano adotada em Estocolmo em 1972, resultando na adoção de três recomendações: a Agenda 21, a Declaração do Rio e os Princípios relativos a Florestas e Selvas, além disso, foram firmadas duas convenções: a Convenção da Biodiversidade e a Convenção do Clima, onde essa última propôs a redução nas emissões dos GEE's (KEATING, 1992) (CAMPOS, 2015).

A Cúpula da Terra teve como destaque especial a Agenda 21, um documento histórico com 700 páginas, abordando todas as áreas do desenvolvimento sustentável, e dividido em quatro seções que incluem: dimensões social e econômica, conservação e gerenciamento de recursos para o desenvolvimento, fortalecimento do papel dos principais grupos sociais e minorias e meios de implementação do desenvolvimento sustentável (KEATING, 1992). O documento registrou a importância dos países com o comprometimento e reflexão sobre soluções para problemas socioambientais e sua cooperação possibilitando interação entre governos, organizações e sociedade referente à sustentabilidade (LIMA, 2013).

Nos anos seguintes, diversos foram os encontros em locais distintos realizados a partir de conferências abordando temas como: mudanças climáticas e redução nas emissões atmosféricas e desmatamento de florestas para restabelecer e analisar os compromissos assumidos entre os países com a Agenda 21. O Protocolo de *Kyoto* e as COP (Conferência das Partes) foram acontecimentos periódicos assumidos entre governos e organizações internacionais com objetivo de definição e alcance de estratégias para desenvolvimento sustentável e proteção ambiental (SÁCHEZ; CROAL, 2012).

Desde 1972, a educação foi formalmente reconhecida a nível internacional a desempenhar um importante papel na promoção do desenvolvimento sustentável, proteção e conservação ambiental, assim diversas foram as associações e acordos entre as universidades no âmbito mundial atuando como implementadoras de políticas públicas adequadas e disseminação do desenvolvimento sustentável regional. Mais de 1000 instituições de ensino superior se comprometeram com a aplicação de estratégias sustentáveis através de declarações, licenças, iniciativas e estabelecimento de planos de curto, médio e longo prazo para institucionalização e garantia de implementação em seus sistemas educacionais (LOZANO *et al.*, 2015).

Neste sentido, a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, promovida pela Organização das Nações Unidas e coordenada pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), foi designada a mobilizar os recursos educacionais mundiais a ajudar a criar um futuro mais sustentável para o planeta, por meio dos passos mencionados na Agenda 21 no período de 2004 a 2015 (UNESCO, 2005). Beynaghi *et al.* (2016, p.3466) destaca que durante esse período, “diversos esforços globais, nacionais, regionais e locais foram realizados para promover o avanço para um mundo mais sustentável, através de diferentes formas de educação, conscientização pública e atividades de formação”.

Antes do término da primeira Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, o Rio de Janeiro sediou a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+20. O evento, além de marcar 20 anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), contribuiu para definição dos compromissos entre os Estados-Membros com o desenvolvimento sustentável para as próximas décadas (RIO20, 2012). Como resultado do evento obteve-se a elaboração do documento final intitulado “O Futuro que Queremos”, em que os Estados-Membros se comprometeram em promover a educação para o desenvolvimento sustentável e sua integração de forma mais ativa (UNITED NATIONS, 2012). O mais recente evento sobre o tema ocorreu em Marraqueche, Marrocos que sediou a 22^a Conferência das Partes com objetivo de manter o aquecimento global abaixo dos 2°C (COP22, 2016).

A seguir é apresentada a Tabela 1 referente aos mais reconhecidos eventos internacionais e declarações para o desenvolvimento sustentável, adaptado de Lima (2013), Lozano *et al.* (2015), Beynaghi *et al.* (2016), COP21 (2015) e COP (2016).

Tabela 1 – Eventos e Declarações Internacionais Mais Reconhecidos Referentes ao Desenvolvimento Sustentável

Ano	Evento
1968	Criação do Clube de Roma
1972	Conferência das Nações Unidas de Estocolmo (Suécia) sobre Meio Ambiente Humano
1975	Publicação da Carta de Belgrado, na Conferência de Belgrado sobre Educação Ambiental (Iugoslávia)
1977	Declaração de Tbilisi na Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental (Geórgia)
1987	Publicação do Relatório de <i>Brundtland</i> (Noruega), "Nosso Futuro Comum"
1990	Declaração de Talloires na Conferência dos Presidentes (França)
1991	Declaração de <i>Halifax</i> na Conferência sobre Ações Universitárias para Desenvolvimento Sustentável (Canadá)
1992	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro (Brasil)
1993	Publicação do Protocolo de <i>Kyoto</i> pela Associação Internacional das Universidades <i>Ninth Round Table</i> (Japão)
1993	Declaração de <i>Swansea</i> na XV Conferência Quinquenal das Universidades (país de Gales)
1993	Publicação da Carta de Copernicus na Conferência dos Reitores Europeus (Reino Unido)
1995	COP 1 - Conferência sobre o Clima, Berlim (Alemanha)
2000	Metas para o Desenvolvimento do Milênio
2000	Cooperação Mundial do Ensino Superior para Sustentabilidade
2001	Declaração <i>Lüneburg</i> sobre Ensino Superior para Desenvolvimento Sustentável (Alemanha)
2002	Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, Johannesburgo (África do Sul)
2004	Declaração de Barcelona (Espanha)
2005	Início da Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável
2005	Declaração <i>Graz</i> da Universidade Comprometidas com o Desenvolvimento Sustentável (Áustria)
2005	COP11 - Conferência sobre o Clima, Montreal (Canadá)
2009	Declaração de Abuja sobre o Desenvolvimento Sustentável na África: O papel do Ensino Superior para o Desenvolvimento Sustentável (Nigéria)
2009	Declaração de Torino sobre a Educação e Pesquisa para o Desenvolvimento Sustentável e Responsável (Itália)
2009	COP 15 - Conferência sobre o Clima, Copenhague (Dinamarca)
2010	COP 16 - Conferência sobre o Clima, Cancun (México)
2011	COP 17 - Conferência sobre o Clima, Durban (África do Sul)
2012	Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, Rio+20 (Brasil)
2012	Tratado do Ensino Superior para Sustentabilidade, Rio+20 (Brasil)
2015	COP 21 - Conferência sobre o Clima - Paris (França)
2016	COP 22 - Conferência sobre o Clima - Marraqueche (Marrocos)

Fonte: Adaptado de Lima (2013), Lozano *et al.* (2015), Beynaghi *et al.* (2016) e COP22 (2016).

2.1.1 Dimensões da Sustentabilidade

Embora o desenvolvimento sustentável esteja baseado em três pilares de sustentação levando em conta a necessidade de equilíbrio entre esses fatores, Krueger (2010) destaca a existência de autores que defendem uma concepção que enfoca dimensões mais abrangentes e que caracterizam a sustentabilidade apresentando destaque especial para Ignacy Sachs, cujas obras ultrapassam os muros acadêmicos abordando temas como desenvolvimento e sustentabilidade.

Segundo Ignacy Sachs (2002, p. 71-73), existem oito dimensões da sustentabilidade que devem ser levadas em conta apresentado também na Figura 1:

- 1) Social: que se refere ao alcance de um patamar razoável de homogeneidade social, com distribuição de renda justa, emprego pleno e/ou autônomo com qualidade de vida decente e igualdade no acesso aos recursos e serviços sociais.
- 2) Cultural: referente a mudanças no interior da continuidade (equilíbrio entre respeito à tradição e inovação), capacidade de autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno (em oposição às cópias servis dos modelos alienígenas) e autoconfiança, combinada com abertura para o mundo.
- 3) Ecológica: relacionada à preservação do potencial do capital natural na sua produção de recursos renováveis e à limitação do uso dos recursos não renováveis.
- 4) Ambiental: trata-se de respeitar e realçar a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais.
- 5) Territorial: refere-se a configurações urbanas e rurais balanceadas (eliminação das inclinações urbanas nas alocações do investimento público), melhoria do ambiente urbano, superação das disparidades inter-regionais e estratégias de desenvolvimento ambientalmente seguras para áreas ecologicamente frágeis.
- 6) Econômica: desenvolvimento econômico intersetorial equilibrado, com segurança alimentar, capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção, razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica e inserção soberana na economia internacional.
- 7) Política (Nacional): democracia definida em termos de apropriação universal dos direitos humanos, desenvolvimento da capacidade do Estado para implementar o projeto nacional, em parceria com todos os empreendedores e um nível razoável de coesão social.

8) Política (Internacional): baseada na eficácia do sistema de prevenção de guerras da ONU, na garantia da paz e na promoção da cooperação internacional, Pacote Norte-Sul de co-desenvolvimento, baseado no princípio da igualdade (regras do jogo e compartilhamento da responsabilidade de favorecimento do parceiro mais fraco), controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios, controle institucional efetivo da aplicação do Princípio da Precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais, prevenção das mudanças globais negativas, proteção da diversidade biológica (e cultural), gestão do patrimônio global, como herança comum da humanidade, sistema efetivo de cooperação científica e tecnológica internacional e eliminação parcial do caráter *commodity* da ciência e tecnologia, também como propriedade da herança comum da humanidade.



Figura 1 – O Ser-Humano e as Dimensões da Sustentabilidade
Fonte: Schutel e Giordani (2011).

Ao ressaltar estas dimensões, Sachs evidencia que, para alcançar a sustentabilidade, é necessário valorizar as pessoas, seus costumes e saberes. Desse modo, o autor demonstra a indispensável percepção global dos problemas da sociedade, para além de focar apenas na gestão dos recursos naturais. Esse pensamento é mais profundo, pois visa uma verdadeira transformação do modelo civilizatório atual tornando o ser humano um agente interdisciplinar por meio da formação continuada (GUEDES, 2012) (SCHUTEL; GIORDANI, 2011).

2.2 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

O setor da construção civil é o maior consumidor de energia e recursos naturais, ultrapassando os setores industriais e de transporte, causando consideráveis impactos ambientais principalmente pelo aumento das emissões de GEE's. Além do aumento das emissões, a indústria da construção civil é responsável por problemas relacionados à saúde e bem-estar nos grandes centros urbanos, sobretudo em países em desenvolvimento, os quais irão ultrapassar os desenvolvidos no uso de energia em edificações urbanas. Nesses países, a maioria da população vive em lugares com baixa qualidade, situados em locais perigosos que estão vulneráveis a impactos ambientais, e sem serviços de saneamento básico adequado (BALABAN, OLIVEIRA, 2016).

Neste sentido, o Ministério do Meio Ambiente (2016) destaca os diversos desafios para o setor da construção, os quais viabilizam a redução e otimização do consumo de materiais e energia, a redução dos resíduos gerados, a preservação do ambiente natural e a melhoria da qualidade do ambiente construído. Para tanto, algumas ações são recomendadas:

- Mudança dos conceitos da arquitetura convencional na direção de projetos flexíveis com possibilidade de readequação para futuras mudanças de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo as demolições;
- Busca por soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis;
- Gestão ecológica da água;
- Redução do uso de materiais com alto impacto ambiental;
- Redução dos resíduos da construção com modulação de componentes para diminuir perdas e especificações que permitam a reutilização de materiais.

Portanto, construção sustentável é a prática de criar estruturas utilizando processos mais responsáveis econômico-socioambientais, com utilização eficiente dos recursos ao longo de um ciclo de vida do edifício durante as fases de concepção, construção, operação, manutenção e renovação da construção. Durante a concepção e construção, os edifícios verdes devem utilizar materiais reciclados, menores quantidade de água e energia e materiais com técnicas eficientes; incorporar reuso e coleta de água da chuva e minimizar a vulnerabilidade a

inundações, emissões fluviais, atmosféricas, poluição do solo, ruídos e poluição luminosa minimizando assim o impacto ambiental. Conseqüentemente, o fator meio ambiente implica social e economicamente. Socialmente, edifícios verdes podem melhorar o ambiente de vida e trabalho para as pessoas. Economicamente, edifícios verdes podem oferecer economia aos proprietários ou ocupantes, pois se utiliza materiais mais duráveis e com ciclo de vida maior. Além disso, esses edifícios podem ser alugados ou vendidos mais rapidamente, oferecendo a possibilidade de lucros maiores (OLUBUNMI *et al.*, 2016).

Com relação ao uso de energia no ambiente construído, os edifícios dependem de uma grande quantidade energética para aplicações cotidianas tais como: aquecimento, ventilação e ar-condicionado, iluminação do espaço, uso de aparelhos elétricos. Diversas soluções inovadoras têm sido propostas aos edifícios energeticamente eficientes, e há um esforço contínuo em sua promoção, pois apresenta economia energética. No entanto, a maioria dessas soluções são voltadas aos novos edifícios e projetos de construção, tornando difícil sua implementação em edifícios existentes (CHENARI *et al.*, 2016). Na Figura 2 é apresentado o consumo internacional de energia em edificações per capita para o ano de 2012 (ZHOU, 2015). Canadá e Estados Unidos lideraram o consumo energético (quilograma de carvão equivalente por pessoa), enquanto que o Brasil apresentou taxas de consumo superiores ao da China.

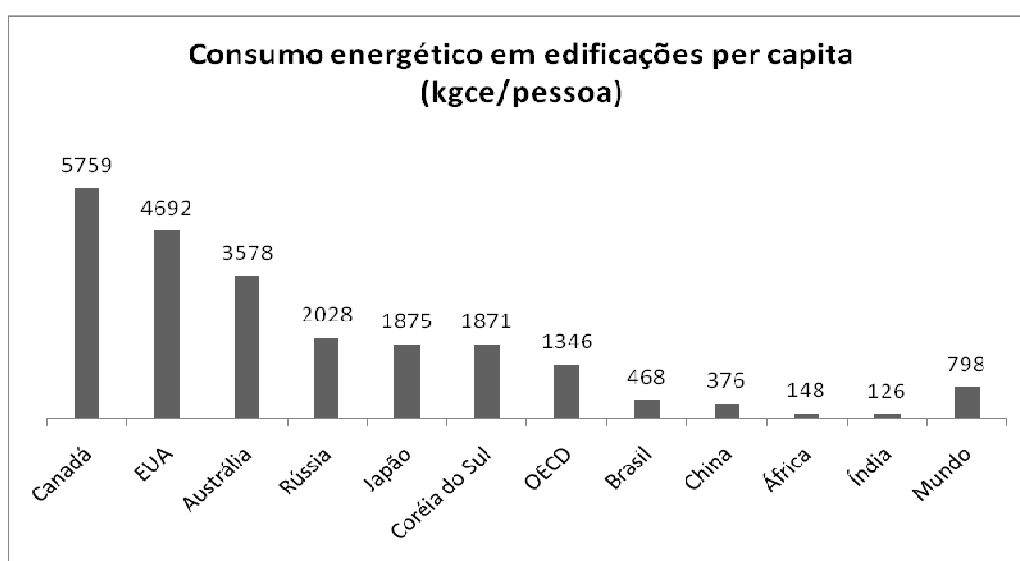


Figura 2 – Consumo Internacional de Energia em Edificações

Fonte: Adaptado de NRCD *apud* Zhou (2015).

* OECD: Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico

Neste sentido, diversos métodos de sistemas de avaliação e certificação de edifícios estão disponíveis, e estes podem ser aplicados a fim de atestar o desempenho da edificação, uma vez que estas ferramentas se baseiam na análise de ciclo de vida de um produto. Tais certificações, também conhecidas com selos verdes, podem promover edificações que gerem baixo impacto ambiental, garantindo o bem-estar e a saúde de seus usuários e a viabilidade econômica dos empreendimentos, associado ao apelo mercadológico, podendo ter um caráter de ferramenta política e de *marketing*. No entanto, a eficiência da aplicação dessa ferramenta depende das condições em que foram empregadas, sendo muitas delas aplicáveis somente a situações muito delimitadas de condições climáticas e sociais, ou em edifícios de uso específico (LIMA, 2013).

De acordo com Wei *et al.* (2015), os precursores na aplicação das certificações foram Europa e Estados Unidos, alcançando essa transição no início dos anos 90. Os métodos de avaliação em destaque são: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) do Reino Unido, *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) dos Estados Unidos, *Haute Qualite Environnementale* (HQE) da França, e *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE) do Japão. Na sequência destes desenvolvimentos, diversos países no mundo desenvolveram sistemas de avaliação adaptadas às condições econômicas e ambientais nacionais nas últimas duas décadas, como é o caso do Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal no Brasil, criado para avaliar edificações populares (GRÜNBERG *et al.*, 2014).

Países como o Canadá e os Estados Unidos, apresentam diversas certificações diferentes de construção verde, e algumas certificações, como o LEED e BREEAM, podem ser aplicadas em vários países. No Brasil, as certificações utilizadas são: LEED, AQUA, PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) Edifica e Selo Caixa Azul (GRÜNBERG *et al.*, 2014).

Grünberg *et al.* (2014) destacam a importância de se conhecer as condições específicas para cada localidade onde se deseja aplicar essa ferramenta, uma vez e que a realidade dos países citados é bastante distinta da brasileira, sendo necessário basear-se em estudos que comprovem a empregabilidade destas ferramentas no Brasil. Dessa forma, é possível evitar problemas de edifícios convencionais rotulados como verdes que refletem apenas esforços na redução de energia. Além disso, devem-se questionar os benefícios que um selo desenvolvido

para outra localidade pode trazer, especialmente para a realidade brasileira, onde ainda apresenta problemas mais básicos como pobreza e desigualdade social (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

Wu *et al.* (2016) afirmam que em muitas diretrizes e métodos de avaliação de edifícios sustentáveis, a fase de concepção do projeto deve ser a mais abrangente enfatizando a análise do ciclo de vida dos materiais empregados na construção do futuro edifício. Essa fase também possibilita uma significativa redução no consumo de energia, através de medidas simples e individuais, assim como formas de conservação de energia, alcançando uma significativa redução no consumo de energia durante a fase operacional da construção. Logo, o ponto mais eficaz de incorporar características sustentáveis nos edifícios está na fase inicial do projeto.

Barros (2012) salienta que para fomentar a potencialização da certificação em edifícios e promoção das construções sustentáveis são necessárias ações por parte dos governos, como:

Criar legislações locais que por meio de incentivos (créditos fiscais e consultores patrocinados pelo governo) e exigências de requisitos mínimos de sustentabilidade para edificações, insumos e componentes, movimente toda a cadeia produtiva da construção e torne mais familiar o processo de certificação.

No Brasil por sua vez, as construções sustentáveis apresentam tendências seguindo duas direções. De um lado, empresários apostam em edifícios verdes, com certificações, tanto no âmbito da edificação quanto no âmbito urbano. Por outro lado, centros de pesquisa e instituições de ensino recomendam a utilização de tecnologias alternativas que empreguem materiais e tecnologias vernáculos, uso da terra crua, palha, bambu, entre outros que apresentem materiais naturais abundantes e pouco processados e alguns exemplos de universidades sustentáveis serão apresentados a seguir (MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

2.2.1 Universidades Sustentáveis

No final da década de 90, a Universidade do Arizona aderiu ao programa *American College* e Universidade Presidentes sobre Compromisso com o Clima. O acordo enfatiza que o câmpus universitário deve exercer a liderança em suas comunidades e em toda sociedade modelando formas de minimizar as emissões que contribuem para o aquecimento global, fornecendo os seus graduados o conhecimento e educação para alcançar a neutralidade climática. O desafio do programa está na promoção do conhecimento e habilidades necessárias para enfrentar os desafios sistêmicos críticos enfrentados pelo mundo neste novo século, permitindo aos graduados se beneficiar das oportunidades econômicas que surgem como resultado de soluções que estes desenvolvem (CHALFOUN, 2014). Na Figura 3 é ilustrado a utilização de sistemas fotovoltaicos, contribuindo com ações de sustentabilidade presentes no câmpus da Universidade do Arizona.



Figura 3 – Universidade do Arizona
Fonte: Sustainability ASU (2016).

Chalfoun (2014) destaca que desde 1986 o programa “*House Energy Doctor*” promove projetos de arquitetura verde por meio da aprendizagem de conservação de energia e energia solar passiva, utilizando métodos de investigação de campo avançados de edifícios existentes e auditorias energéticas. O programa é uma ferramenta educacional, de extensão de pesquisa, e da comunidade da Universidade do Arizona do Departamento de Arquitetura, Planejamento e Paisagismo. Nos últimos anos, mediante a um acordo de vários anos entre o referido programa, e departamentos administrativos e de habitação, a auditoria energética se encontra no nível III e têm sido realizadas sobre nove grandes edifícios do câmpus

para identificar oportunidades de melhoria da eficiência energética e contribuir para a sustentabilidade do câmpus. A iniciativa resultou na certificação LEED no câmpus da universidade sendo incorporados em projetos sustentáveis coordenados pelo autor citado.

O governo espanhol por sua vez, desenvolveu em 2015 a Estratégia Universidade, com a finalidade de adaptação das universidades espanholas com as diretrizes propostas pelo Espaço Europeu do Ensino Superior. As diretrizes foram motivadas por meio da elaboração de dois documentos para estimular o debate sobre os conceitos de gestão das universidades e prestação de contas. Estes documentos afirmam que as universidades devem ser instituições socialmente responsáveis, que podem ajudar os alunos a encontrar emprego, incentivar valores éticos ou contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do governo espanhol, que por sua vez também aprovou outra nova legislação referente à implementação da sustentabilidade no contexto do ensino superior. Na Figura 4 é mostrada a aplicação da tecnologia fotovoltaica no câmpus da Universidade Autônoma de Madrid (JORGE *et al.*, 2015).



Figura 4 – Universidade Autônoma de Madrid
Fonte: *Designbomm* (2016).

Jorge *et al.* (2015) afirmam que além da aplicação de leis orgânicas e Economia Sustentável na instituição, a Conferência de Reitores das Universidades Espanholas criou um Grupo de Trabalho de Qualidade Ambiental e Desenvolvimento

Sustentável, o qual elaborou um conjunto de diretrizes para incorporar a sustentabilidade no currículo. Este, por sua vez, levou à criação de uma comissão especial focada na qualidade ambiental, desenvolvimento sustentável e prevenção de riscos.

A China por outro lado, iniciou a transição de sustentabilidade no ambiente acadêmico em 2007, quando foi realizado o primeiro projeto de demonstração de energia e de recursos eficientes na Universidade de *Tongji* (Figura 5). A iniciativa impulsionou diversas universidades chinesas a implementarem programas de eficiência energética em seus campi. A implementação do sistema de gestão de energia ampliou a abordagem referente ao desenvolvimento sustentável associado com a aplicação de eco-tecnologia e educação verde para energia e recursos eficientes no câmpus. A iniciativa viabilizou a aplicação desses sistemas em mais de 200 universidades e faculdades, sendo financiados e impulsionados juntamente pelos Ministérios da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural, da Educação e de Finanças (TAN *et al.*, 2014).



Figura 5 – Universidade de *Tongji*
Fonte: Acervo da Autora.

Tan *et al.* (2014) ressaltam que como resultado da iniciativa e dos incentivos governamentais, mais de 30 universidades e faculdades estabeleceram programas de eficiência energética em seus campi e obtiveram sucesso nos testes de aceitação. A partir da implementação desses programas, essas instituições

alcançaram grandes realizações e experiências, e conseqüentemente foram muito bem vistos pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente, viabilizando parcerias nacionais e internacionais referente ao desenvolvimento sustentável.

No cenário brasileiro tem-se a UTFPR, a qual tem sido tradicionalmente valorizada nacional e internacionalmente por seu foco tecnológico, alcançando a transição de sustentabilidade no ambiente acadêmico com a proposta do primeiro Escritório Verde no Brasil (Figura 6), responsável pelo desenvolvimento e implementação de políticas ambientais no câmpus de Curitiba. O planejamento do Escritório Verde começou em 2002, como uma iniciativa do Grupo Multidisciplinar de Pesquisa em Tecnologia e Meio Ambiente (TEMA) constituído por professores, estudantes e técnicos em um programa permanente chamado TECSUS (Tecnologia Sustentável), visando à implementação de ações em conformidade com a Agenda 21. Como resultado desta transição, a UTFPR assinou um documento oficial chamado "Pacto 21", que envolve algumas das instituições de ensino superior do Estado do Paraná e do Fórum para a Agenda 21, os quais são coordenados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Paraná (SEMA) (CASAGRANDE *et al.*, 2012).



Figura 6 – Escritório Verde da UTFPR
Fonte: Escritório Verde (2016).

Casagrande *et al.* (2012) salientam que a concepção do Escritório Verde é resultado de uma longa busca pela inovação associada à transformação educacional. O projeto teve como objetivos a implementação de um programa de

gestão ambiental para o câmpus, promoção da integração da educação ambiental, aplicação de novas tecnologias e práticas capazes de gerar integração entre professores e alunos no câmpus, assim como a comunidade, com o propósito de desenvolver projetos sustentáveis eficazes e programas que podem se beneficiar dos processos de ensino e da própria cidade. A sede do Escritório Verde foi construída com os seguintes princípios de construção sustentável (ESCRITÓRIO VERDE, 2016):

- Projeto arquitetônico seguindo orientações bioclimáticas;
- Construção modular a seco (*Wood - frame*) com paredes duplas em estrutura de pinus tratado e painéis de OSB (*Oriented Strand Board*);
- Isolamento térmico acústico com mantas de PET reciclado e pneu reciclado;
- Janelas em esquadrias de madeira e vidros duplos especiais;
- Telhado verde – uso de vegetação local em dois módulos da edificação;
- Iluminação natural através de sistemas inteligentes de clarabóias;
- Uso de lâmpadas LED's para maior eficiência energética;
- Implantação de energia solar usando painéis fotovoltaicos para suprir a energia consumida (em estudo também está a alimentação de um carro elétrico pela edificação);
- Uso de sistema de coleta e uso da água da chuva para vasos sanitários e limpeza;
- Uso de piso elevado fabricado em polipropileno reciclado;
- Uso de materiais de baixo impacto ambiental como: piso externo drenante em granito para maior permeabilização do terreno, acabamento do piso interno em madeira certificada com selo FSC (*Forest Stewardship Council*), madeira plástica (composta por pó de madeira e plástico reciclado), carpet em material reciclado e parte do revestimento das paredes e do mobiliário em bambu;
- Instalação de sistemas inteligentes de lógica, automação e segurança.

O Escritório Verde também estabeleceu acordos de cooperação com pesquisadores independentes, possibilitando a promoção da prática acadêmica no alcance do desenvolvimento sustentável, o que contribui com a formação de graduandos e pesquisadores, ultrapassando barreiras acadêmicas restringidas às teorias ensinadas nas salas de aula (CASAGRANDE *et al.*, 2012).

2.3 SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Um dos maiores desafios desse século está presente no setor de geração de eletricidade. Diversos problemas como, por exemplo, dependência de combustíveis fósseis, disponibilidade/confiabilidade do sistema elétrico e mudanças climáticas, podem influenciar o fornecimento de energia, principalmente no caso das usinas hidrelétricas, as quais dependem dos níveis de água dos reservatórios. Consequentemente, essas adversidades viabilizaram as “transições de sustentabilidade” no setor de eletricidade, mediante a aplicação de novos sistemas de energia, possibilitando grandes saltos em eficiência ambiental (VERBONG; GEELS, 2010).

No setor energético, as transições de sustentabilidade vêm ocorrendo desde o século anterior, quando a preocupação em alcançar o desenvolvimento sustentável se fez presente. Essas transições de energia exigem um longo período para sua aplicação, e se referem a uma mudança de larga escala para uma combinação de diferentes fontes energéticas primárias. Desse modo, o processo de transição envolve também diversos sistemas de fornecimento de eletricidade que compõem a matriz energética como um todo. Portanto, os sistemas de energia podem ser considerados tão complexos assim como atividades humanas ou uso de terra, pois são afetados por altos níveis de incertezas que influenciam a robustez de sua análise (MAURIN, 2016).

Devido à complexidade desses sistemas de energia, seus critérios de escolha nem sempre ofereceram dimensões tão abrangentes. É possível recordar, ao longo da história, que essa escolha era pautada em apenas dois critérios cruciais: a disponibilidade técnica e viabilidade econômica. Somente nas últimas décadas que o critério ambiental tem sido levado em conta, e esse novo fator já desempenha um papel fundamental quando se trata de avaliar e comparar diferentes fontes de energia e tecnologias para o sistema elétrico do país (BARROS *et al.*, 2015).

Inserido nos critérios ambientais, está à preocupação com a redução das emissões dos GEE's, que particularmente pressiona o ritmo lento das transições de sustentabilidade. Hess e Mai (2014) chamam a atenção para o aumento nas emissões desses gases nos países em desenvolvimento do continente asiático, em que as emissões continuaram a subir a um nível global. Apesar de alguns países e

regiões do mundo terem conseguido a estabilidade ou mesmo reduções tanto per capita e emissões totais, os países em desenvolvimento da Ásia emergiram como os principais contribuintes para as emissões globais de GEE's em rápido crescimento. Conforme Olivier *et al.* (2011) *apud* Hess e Mai (2014) entre 1990 a 2010, as emissões de dióxido de carbono da China aumentaram em 257%, da Indonésia em 194%, da Índia em 180%, da Tailândia por 160%, e de Taiwan por 118%. Nesses países, a geração de eletricidade lidera em taxas de emissões, e merecem atenção especial quanto à implementação de políticas de transição de energia.

Por outro lado, países como Estados Unidos apresentam uma matriz energética diversificada, no entanto ainda predominantemente fóssil, sendo 39% carvão, 27% gás natural, 19% nuclear, 7% hidrelétricas, 4% eólica, 1% madeira e combustíveis derivados de madeira (biomassa lenhosa), 0,4% geotérmica, 0,2% solar fotovoltaica e 0,02% solar térmica (concentradores térmicos). Por essa razão, discussões mais recentes continuam a enfatizar a importância de atender às necessidades crescentes de energia de ambas as gerações presentes e futuras, abordando simultaneamente limitações em quatro categorias principais da sustentabilidade: econômica, ambiental, social e técnica (KLEIN; WHALLEY, 2015).

Stamford e Azapazic (2014) afirmam que a descarbonização do setor de geração de eletricidade no Reino Unido é um alvo muito ambicioso, devido ao fato da matriz do país ser dominada pelos combustíveis fósseis, contribuindo com mais de 87% do total. A fim de tentar descobrir como alcançar a transição de energia, muitos esforços e trabalhos foram desenvolvidos por centros de pesquisa em parceria com o governo britânico, utilizando a análise de diversos cenários. Um bom exemplo, é o trabalho que o Departamento de Energia e Mudanças Climáticas (*Department of Energy and Climate Change*) do governo do Reino Unido, desenvolve desde 1990 para alcançar um nível de redução de toneladas métricas (Mt) de CO₂ equivalente até o presente momento, conforme mostrado na Figura 7 (DECC, 2014).

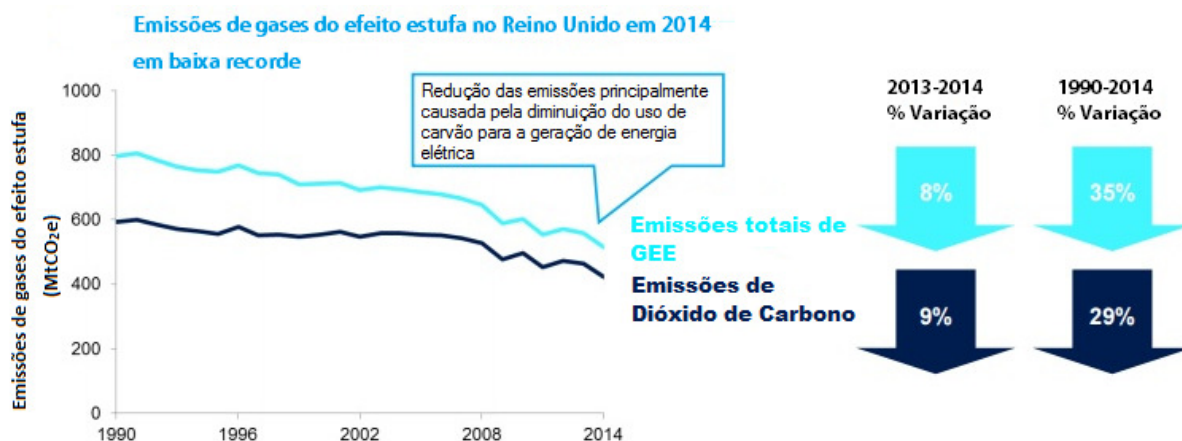


Figura 7 – Emissões dos GEE's no Reino Unido no Período de 1990 - 2014
 Fonte: Adaptado de DECC (2014).

O gráfico apresentado na figura 8 aponta índices de reduções de emissões dos GEE's e dióxido de carbono no Reino Unido, para período de 1990-2014, com taxas de decréscimo de 35% e 29% respectivamente. De acordo com DECC (2014) mediante seus relatórios de emissões atmosféricas anuais, essa significativa taxa de redução ocorreu devido principalmente à diminuição do uso do carvão empregado no setor da geração de eletricidade. Iniciativas como essa mostram a importância da interação entre órgãos ambientais, empresas de energia e governos locais, os quais viabilizam aplicabilidade de ações para a transição de sustentabilidade no setor de geração de eletricidade.

No Brasil, a preocupação com a transição a partir da aplicação de diversas alternativas renováveis é enfatizada para diversificação da matriz. Entretanto, a sua implementação enfrenta dificuldades devido à falta de consenso desencadeada por várias questões, geralmente relacionadas à sustentabilidade, retardando a aprovação de licenças e construção de novos projetos. O planejamento de longo prazo prevê a substituição da matriz convencional por projetos que empregam energias renováveis em suas cadeias produtivas, no entanto a utilização de combustíveis fósseis com base em gás natural e carvão, ainda é bastante presente, devido ao fato de apresentarem procedimentos mais padronizados e de licenciamento mais rápidos (MOREIRA *et al.*, 2015).

Silva *et al.* (2016) afirmam que o Brasil detém a posição de liderança com relação ao uso de fonte de energias renováveis e destaca o enorme potencial hidrelétrico brasileiro, que corresponde a mais de dois terços da capacidade

instalada total do país. Embora existam muitas vantagens no uso de recursos hídricos, a predominância dessa fonte torna o sistema elétrico dependente de condições hidrológicas. Além do mais, as secas intensivas dos últimos anos contribuíram para os baixos níveis dos reservatórios. Em 2015, o setor energético brasileiro apenas escapou de uma crise energética, devido à crise econômica no país, o que impulsionou a adoção de estratégias de diversificação da matriz, a fim de aumentar a segurança e garantir o fornecimento de eletricidade.

Neste sentido, superar desafios de sustentabilidade e alcançar a transição de energia, por meio do desenvolvimento de recursos renováveis e reduzir as emissões dos GEE's na geração de energia elétrica, é tarefa no âmbito mundial. As energias renováveis viabilizam a transição de sustentabilidade na geração de energia elétrica, e devem estar cada vez mais presentes na matriz energética mundial e serão abordadas no item a seguir.

2.3.1 Energias Renováveis

Com o rápido desenvolvimento das tecnologias de energias sustentáveis e o aumento da demanda por geração com baixos níveis de emissões, a utilização de energias renováveis apresenta perspectivas promissoras na transição de sustentabilidade na geração de energia elétrica. Existe um consenso em que os sistemas de geração de energia devem passar por essa transição, uma vez que estes sistemas apresentem viabilidade técnica e econômica, é perfeitamente possível substituir os combustíveis fósseis por energia renovável para fornecimento de eletricidade (KUANG *et al.*, 2016) (CONNOLLY *et al.*, 2016).

Conforme o último balanço energético brasileiro de 2016, a participação de renováveis na Matriz Elétrica Brasileira aumentou de 74,6% em 2014 para 75,5% em 2015, devido à queda da geração térmica a derivados de petróleo e ao acréscimo das gerações a biomassa e eólica, apesar da redução da oferta hidráulica, conforme é mostrado no gráfico da Figura 8. Outro fator que influenciou essa redução da participação da energia hidráulica na matriz elétrica do Brasil nos anos anteriores a 2016, foi o desligamento de parte das usinas térmicas proposto pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), devido à expectativa de se atingir níveis de

armazenamento da ordem de 30% nos reservatórios das Regiões Sudeste/ Centro Oeste, ao final de novembro de 2015 (G1, 2015). Essa medida viabilizou a mudança na bandeira tarifária, pois houve uma evolução positiva do período úmido de 2016, recompondo os reservatórios das hidrelétricas, aliada a aumento de energia disponível, redução de demanda e adição de novas usinas ao sistema elétrico brasileiro, possibilitando a mudança das bandeiras tarifárias nos últimos meses (ANEEL, 2016b). Dessa forma, o Brasil apresenta um caráter renovável, uma vez que se destaca pelo seu enorme potencial hidrelétrico.

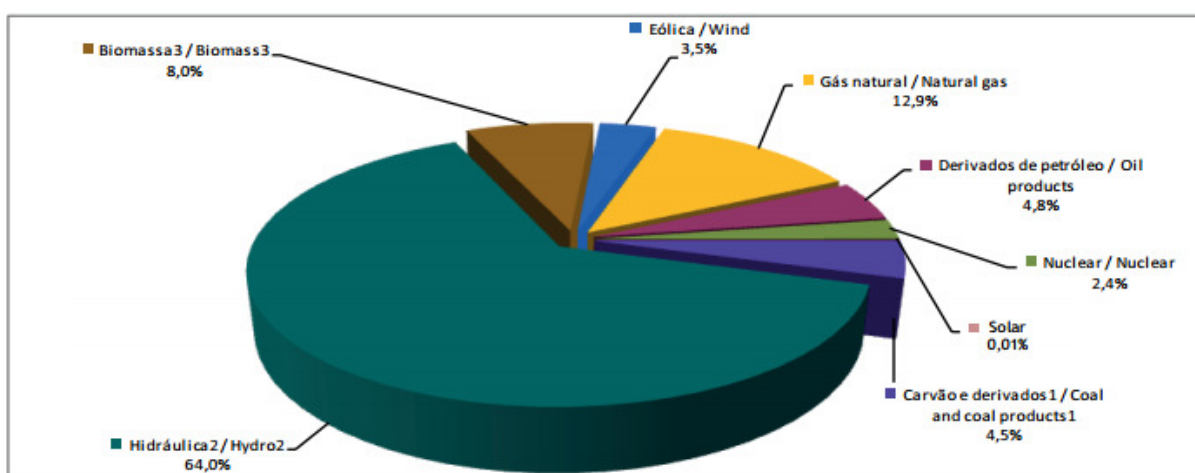


Figura 8 – Participação de Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira
Fonte: BEN (2016).

No entanto, Hossain *et al.* (2016) destacam a existência de diversas fontes alternativas de energias renováveis disponíveis no mundo, como a hidroeletricidade, eólica, solar, biomassa, geotérmica e energia provenientes dos oceanos sendo que a maioria deles apresenta sua fonte primária gratuita e abundante na superfície ou no interior da terra. Neste sentido, no subitem seguinte serão apresentadas brevemente algumas dessas fontes renováveis.

2.3.1.1 Hidroeletricidade

A fonte primária da geração de energia por meio hidroeletricidade é a água, que geralmente é armazenada por rios limitados por uma barragem. Na parte inferior da barragem existe uma comporta, a qual controla o fluxo de água e esta aciona

uma turbina gerando eletricidade. A energia proveniente de usinas hidrelétricas é a principal fonte primária interna em países como Brasil, Canadá, Nova Zelândia, Noruega, Paraguai, Austrália, Suíça e Venezuela (HOSSAIN *et al.*,2016).

Silva *et al.* (2016) citam que os custos de investimento para a implementação de usinas hidrelétricas são altos, cerca de US\$ 1.420/kW e o tempo médio de construção varia de quatro a cinco anos. Essas usinas apresentam vida útil de no mínimo 30 anos, que podem ser estendidos com a modernização e incremento de turbinas e geradores. No Brasil, essa fonte representa mais que 60% da capacidade instalada, sendo que a maior usina é a hidrelétrica de Itaipu (Figura 9) com 14 GW (giga-watts) de capacidade de geração (MARIANO *et al.*, 2016a).



Figura 9 – Vista da Usina Hidrelétrica de Itaipu
Fonte: Itaipu (2016).

Os impactos ambientais referentes a esse tipo de geração estão diretamente ligados ao tipo e localização da planta, pois demandam grandes áreas para sua construção. Ainda, hidrelétricas de reservatório geralmente causam grandes impactos devido à mudança no curso dos rios, biodiversidade e emissões de GEE's principalmente de metano, provenientes de decomposição do solo e resíduos vegetais orgânicos significativos em climas tropicais (SOKKA *et al.*, 2016).

2.3.1.2 Energia eólica

A energia eólica é gerada a partir do fluxo de ar, capaz de acionar a pás de uma turbina, que por sua vez produzem energia mecânica, e esta é convertida em energia elétrica. Os exemplos mais comuns dessa geração estão na utilização de energia eólica em moinhos de vento, bombas de vento, vela para a propulsão de navios, etc. Países como, China, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia, França, Itália, Reino Unido, Canadá e Portugal apresentam os maiores mercados de energia eólica do mundo (HOSSAIN *et al.*, 2016).

Silva *et al.* (2016) destacam dados do cenário brasileiro com um total de 232 usinas eólicas instaladas, variando de 0,30 MW (megawatts) a 100 MW o que equivale a uma capacidade instalada de 4,98 GW. Cerca de 60% da capacidade instalada total estão localizadas no Nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte), e Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul), com destaque para usina eólica de Geribatu (Figura 10), localizada em Santa Vitória do Palmar/RS com 258 MW. Também estão em construção 128 usinas eólicas no Brasil (MARIANO *et al.*, 2016a).

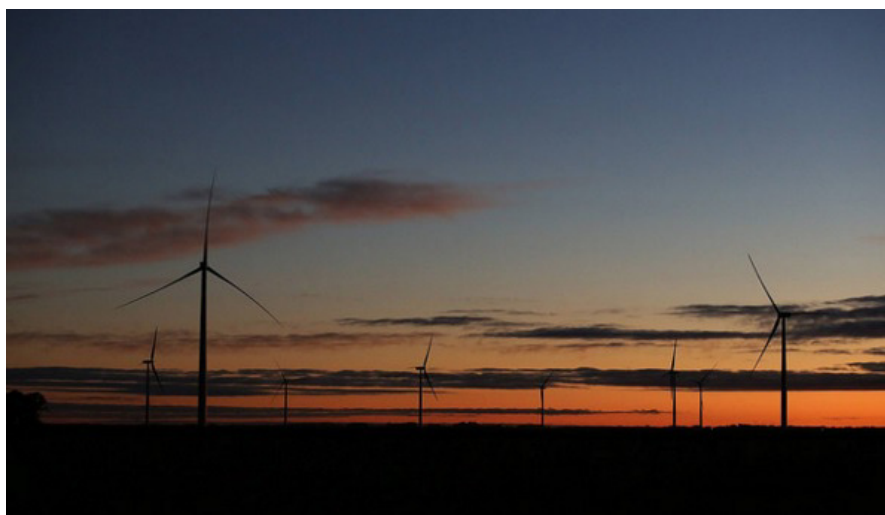


Figura 10 – Vista da Usina Eólica de Geribatu
Fonte: PAC (2016).

Os principais impactos ambientais estão relacionados à biodiversidade, barulho e alteração de paisagens onde são instaladas na fase de operação. Quanto às emissões de GEE's variam de 4 a 68 g CO₂eq / kWh (grama de dióxido de carbono equivalente por kWh), além disso, minerais raros como Disprósio e

Neodímio são necessários durante a produção dos aerogeradores (SOKKA *et al.*, 2016).

2.3.1.3 Biomassa

A biomassa também faz parte das energias renováveis e pode ser obtida por meio de diversos materiais biológicos, provenientes de organismos vivos, plantas e derivados de plantas. A geração de energia através da biomassa é geralmente utilizada em aplicações diretas para a produção de calor por combustão e processo indireto como biocombustível. Com relação ao processo de conversão de biocombustíveis, este é mantido por diversos métodos como, processos químicos, térmicos, bioquímicos, etc (HOSSAIN *et al.*,2016).

Conforme Silva *et al.* (2016) o Brasil apresenta uma vasta superfície localizada em região tropical que oferece condições adequadas para a produção e uso de biomassa em larga escala. Além do mais, o país tem uma tradição e um potencial significativo na produção de biomassa para geração de eletricidade, uma vez que as tecnologias de combustão para converter biomassa em eletricidade são totalmente comercializadas com o desempenho operacional comprovado.

Silva *et al.* (2016) ainda destacam a abundância da matéria-prima e o rejeito da cana-de-açúcar (bagaço e palha) no território brasileiro que pode oferecer um dos maiores potenciais servindo como fonte suplementar na matriz energética brasileira.

Os impactos ambientais, por sua vez estão ligados a fatores com alta variação de mudanças climáticas e índices de acidificação, eutrofização e consumo de energia em sua produção. As emissões de GEE's para esse tipo de geração variam de 21 a 154 g CO₂eq / MJ (Mega Joule) (SOKKA *et al.*, 2016).

2.3.1.4 Energia geotérmica

A energia geotérmica é tipo de energia renovável derivada e armazenada da terra, onde a temperatura da matéria depende da energia térmica proveniente da

crosta terrestre, incluindo a formação construtiva (20%) e a de minerais radiativos (80%). Essa energia é produzida pela decomposição radioativa, onde a temperatura alcança 5.000 °C através do calor da terra. O calor é liberado diretamente a partir do núcleo para a rocha mais fria e quando a temperatura é muito elevada, ocorre o derretimento da rocha produzindo magma que é mais leve que a rocha de concreto. Assim, a água do magma e o calor da rocha na superfície exterior atingem 370 °C (HOSSAIN *et al.*,2016).

De acordo com Hossain *et al.* (2016), os Estados Unidos se tornaram líderes na geração de eletricidade geotérmica em 2012, com 3.086 MW de capacidade instalada a partir do lançamento de 77 usinas geotérmicas. O maior grupo de empresas de energia geotérmica no mundo é encontrado no complexo *The Geysers*, localizada na Califórnia, mostrado na Figura 11.

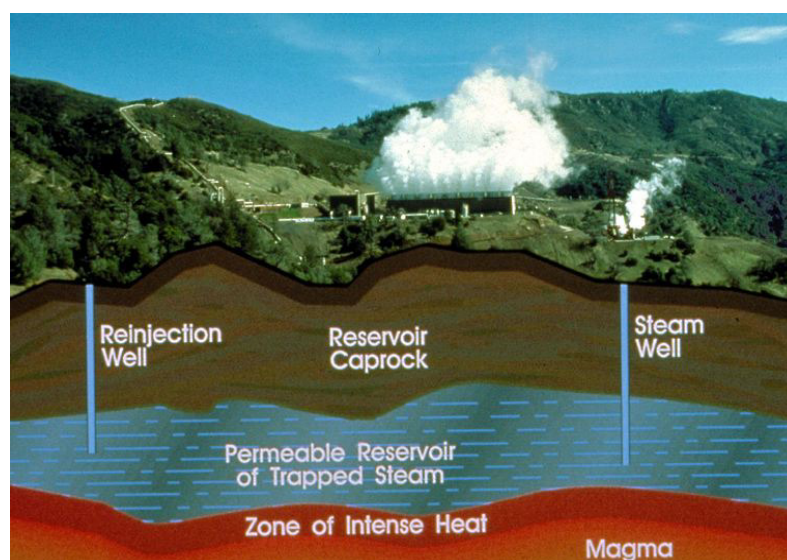


Figura 11 – Geologia do Complexo Geotérmico *The Geysers*
Fonte: Steve Cotler (2009).

Os principais impactos ambientais são referentes às bombas de calor geotérmicas que dependem da eletricidade para sua operação. Com relação às emissões de GEE's e o ciclo de vida de bombas de calor geotérmicas e ar variam de 53 a 65 g CO₂eq / MJ e de 58 a 77 g CO₂eq / MJ, respectivamente (SOKKA *et al.*, 2016).

2.3.1.5 Energia dos oceanos

A energia proveniente dos oceanos e mares pode ser obtida mediante diferentes tecnologias, dentre elas estão à energia das marés, energia das ondas, conversão de energia térmica do oceano e gradiente de salinidade. Dessa forma, a tecnologia das marés e energia das ondas representa as mais avançadas tecnologias de energia dos oceanos, e deve se tornar comercialmente viável a curto e médio prazo. Entretanto, essa fonte de energia enfrenta diversas barreiras como: desenvolvimento de tecnologia, financiamentos, abertura de mercados, questões ambientais e administrativas, e disponibilidade da rede. Neste contexto, as barreiras tecnológicas representam a questão mais importante, atingindo 35% das principais prioridades para as indústrias de ondas e das marés. Deste modo, superar problemas de tecnologia é fundamental para a identificação de soluções para superar as outras barreiras que retardam o desenvolvimento do setor, principalmente os obstáculos financeiros (MAGAGNA; UIHLEIN, 2015).

Segundo Kuang *et al.* (2016) a energia oceânica é caracterizada por uma menor volatilidade e melhor previsibilidade se comparada com energia eólica e solar, contudo a utilização de energia dos oceanos existente ainda está nos estágios iniciais de desenvolvimento e de demonstração. Ilhas e penínsulas são os locais mais apropriados e viáveis para aplicação dessa tecnologia, e por essa razão a utilização da energia das ondas e conversão de energia térmica dos oceanos tem recebido mais atenção nestes locais. Na Figura 12 tem-se a maior usina maremotriz (energia oriunda das marés) do mundo, em *Sihwa Lake*, situada na Coreia do Sul, com 254 MW (KOREA, 2012).



Figura 12 – Vista da Usina Maremotriz de Sihwa Lake
Fonte: Korea (2012).

No Brasil, não há aplicação dessa fonte de energia, embora o país apresente potencial na costa norte, onde se encontram as maiores amplitudes de marés. Estudos realizados ainda na década de 80 revelaram alguns locais potencialmente favoráveis à exploração da energia maremotriz, como por exemplo, o litoral do estado do Maranhão, onde se estima um potencial disponível acima de 8 GW. Neste sentido, existem propostas de implantação de uma usina-piloto para fins de pesquisa apenas, tendo em vista que este conhecimento possa ser revertido para outras regiões do Brasil que possuam potencial mais significativo (NETO *et al.*, 2011).

Em Uihlein e Magagna (2016), os impactos ambientais estão relacionados ao ciclo de vida dos componentes desse sistema, uma vez que processos de fabricação, operação, manutenção e desativação de dispositivos de energia dos oceanos terão vários efeitos sobre o meio ambiente. Dessa forma, os principais impactos ambientais esperados incluem impactos sobre a comunidade bentônica, ou se seja, formas de vida presentes no ambiente aquático, devido a alterações nos padrões de fluxo, estruturas das ondas, dinâmica sedimentar, interferindo na resposta específica da espécie às alterações do *habitat*, e o emaranhado de mamíferos marinhos, tartarugas, peixes de grande porte e aves marinhas.

2.3.1.6 Energia solar

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 47), a energia proveniente do Sol é a fonte mais abundante e inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor como de luz. Os autores afirmam que o Sol também é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energéticas na Terra e que:

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Assim, também a energia eólica é uma forma indireta de manifestação da energia solar, já que os ventos se formam a partir da conversão da radiação solar em energia cinética, em função de um balanço diferenciado nas diferentes latitudes entre a radiação solar incidente e a radiação terrestre emitida. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que originalmente obtiveram do recurso solar a energia necessária ao seu desenvolvimento. É também através da energia do Sol que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, realiza a fotossíntese e se desenvolve para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas.

Deste modo, é possível através da radiação solar obter energia indireta, mediante a aplicação de coletores ou concentradores solares, ou energia direta, por meio de energia solar fotovoltaica, que é o objeto desta pesquisa.

2.3.1.6.1 Energia solar térmica

A energia solar térmica pode ser obtida mediante a aplicação de placas térmicas denominadas coletores solares, atuando como aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores e coletores planos, em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. Uma vez aquecido, o fluido pode ser mantido em reservatórios térmicamente isolados até seu uso final. Os coletores concentradores estão associados a aplicações em temperaturas de até 400 °C para o acionamento de turbinas a vapor e

posterior geração de eletricidade, geralmente para aplicação industrial. Os coletores planos por sua vez são utilizados essencialmente para aplicações residenciais e comerciais em baixa temperatura (por volta de 60 °C) tais como: água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, aquecimento de piscinas, água aquecida para limpeza em hospitais e hotéis, etc (PINHO; GALDINO, 2014, p. 48).

Com relação à operação de usinas ou sistemas industriais que utilizam coletores planos e concentradores, assim como usinas fotovoltaicas, estes não apresentam perigo ou impactos ambientais em sua fase de operação. Em contrapartida, a questão preocupante está ligada à produção de componentes e seu descarte, uma vez que podem conter metais pesados, bem como a estrutura onde são montados. O processo de reciclagem desses componentes geralmente é realizado através de um processo denominado pirólise, o qual requer muito gasto de energia (FTHENAKIS, 2000) (MCDONALD; PEARCE, 2010).

Hossain *et al.* (2016) afirmam que países como Estados Unidos e Espanha apresentam as maiores usinas que aplicam a tecnologia de concentradores solares no mundo, sendo 354MW no Deserto de Mojave na Califórnia (Figura 13) e Solnova e Andasol com cerca de 150 MW respectivamente.



Figura 13 – Vista da Usina Solar Térmica de Mojave na Califórnia
Fonte: *Earthtime* (2012).

Os impactos ambientais causados por essas usinas são similares às construções de grandes usinas, que neste caso requerem a utilização de grandes

áreas para sua alocação. Quanto às emissões de GEE's no ciclo de vida dos materiais empregados, são de aproximadamente 11-68 g CO₂eq / kWh para os coletores solares (SOKKA *et al.*, 2016).

2.3.1.6.2 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida mediante a conversão direta da radiação solar em eletricidade. Apesar da robustez destes sistemas, são extremamente simples na sua concepção exigindo muito pouca manutenção. A maior vantagem da aplicação desses sistemas é a sua modularidade e autonomia na operação, sendo aplicados como fonte de energia em sistemas de bombeamento de água, fornecimento de energia em locais remotos, comunicações, satélites e veículos espaciais, geração de energia em edifícios comerciais e residenciais no ambiente urbano e até mesmo para usinas em escala de mega a gigawatts. (PARIDA *et al.*, 2011).

Neste sentido, os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos entre sistemas isolados, que são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica, e necessitam de um elemento armazenador de energia, que neste caso são baterias; e sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), sendo objeto dessa pesquisa, são vistos como uma forma de geração distribuída (GD) ao longo dos alimentadores da rede elétrica de distribuição, em baixa ou média tensão, e contribuem para disponibilizar energia próximo ao ponto de consumo (URBANETZ JUNIOR, 2010).

A maior central fotovoltaica do mundo se encontra nos Estados Unidos no projeto de *Solar Star* (Figura 14) com 579 MWp instalado. A central fotovoltaica *Solar Star* está localizada na cidade de *Rosamond* a pouco mais de 130 km a norte da cidade de *Los Angeles*, California, e é a maior usina fotovoltaica do mundo com o sistema conectado à rede elétrica. Durante o período de construção, foram instalados 1.720.000 módulos evitando a emissão de 570.000 toneladas de CO₂ por ano (SUNPOWER, 2016).



Figura 14 – Vista da Usina Fotovoltaica *Solar Star*
Fonte: Clean Technica (2015).

No Brasil, essa fonte é ainda pouco representativa para centrais fotovoltaicas, pois conta com uma capacidade instalada de cerca de 0,02% na matriz energética brasileira, com 42 usinas fotovoltaicas e aproximadamente 23 MWp, quantidade pouco significativa quando comparada ao potencial do país. Contudo, no ano de 2017 este cenário apresentará um grande avanço devido a leilões de reserva da ANEEL (ANEEL, 2017a) (EXAME, 2015).

Por outro lado, após a implementação da Resolução Normativa 482 da ANEEL houve um aumento significativo de instalação de micro (até 75 kW), e mini (até 5 MW) centrais fotovoltaicas no Brasil. De acordo com ANEEL (2017b), houve a implementação de 7.689 unidades fotovoltaicas geradoras no Brasil até janeiro de 2017, totalizando aproximadamente 75 MWp. Cabe ressaltar que ANEEL acompanhará de perto a implantação das novas regras do sistema de compensação e prevê que até 2024 cerca de 1,2 milhões de unidades consumidoras passem a produzir sua própria energia, totalizando 4,5 GW de potência instalada (ANEEL, 2015).

No tocante aos impactos ambientais ocasionados por usinas fotovoltaicas, estes se mostram significativos em sua fase de construção dependendo da localidade e da dimensão desta planta. Entretanto, no caso da geração distribuída, ou seja, a aplicação de várias plantas de pequena potência em centros urbanos, esta merece destaque especial devido à possibilidade de instalação em áreas existentes, tais como telhados e fachadas. Por esse motivo, a implantação desses sistemas e a modificação do cenário urbano, com a adesão de módulos fotovoltaicos, apresentam impacto social e ambiental muito menor do que a causada

por usinas hidrelétricas e termelétricas. Quanto às emissões de GEE's são de aproximadamente 32-79 g CO₂eq / kWh (MARIANO *et al.*, 2016a) (SOKKA *et al.*, 2016).

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Conforme visto anteriormente, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica estão cada vez mais presentes na matriz energética mundial, seja pela aplicação de usinas fotovoltaicas de grande porte ou por meio de usinas geradoras de mini e microgeração incorporada às edificações, atuando como geração distribuída inserida no meio urbano.

Diversas são as vantagens com a implantação desses sistemas, dentre elas estão: elevada produtividade (pois toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada), ausência do banco de baterias e ao desligamento automático do inversor quando na ausência de energia da rede elétrica, conferindo segurança ao sistema, evitando assim o fenômeno de ilha. Este fenômeno ocorre quando parte da rede elétrica é desconectada propositadamente ou acidentalmente do restante do sistema da concessionária, mas essa continua a ser energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Neste sentido, entender o funcionamento de tais sistemas, bem como seus componentes e suas atuações são essenciais para estudos de viabilidade técnica e econômica no desenvolvimento de projetos que utilizam SFVCR. A seguir são apresentados conceitos básicos como o efeito fotovoltaico, a célula fotovoltaica, componentes de um SFVCR, bem como o dimensionamento e legislação vigente no Brasil para estes sistemas.

2.4.1 O Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é definido como a transformação da energia contida na irradiação solar em energia elétrica. Esse fenômeno foi observado pela primeira vez por um físico francês Edmond Becquerel em 1839, quando este descobriu uma

tensão resultante da ação da irradiação solar sobre um eletrodo metálico imerso em uma solução química. Dessa forma, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores, presentes na composição uma célula fotovoltaica, capazes de absorver a energia transformando-as em eletricidade, através da quebra das ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas, as quais liberam cargas elétricas podendo ser utilizadas para realização de trabalho (ZILLES *et al.*, 2012) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.4.2 Célula Fotovoltaica

As células fotovoltaicas são a unidade fundamental do sistema FV e são constituídas de certos materiais semicondutores, caracterizando-se por apresentarem uma banda de valência completamente preenchida por elétrons e uma banda de condução, que são separadas entre si por uma banda proibida denominada *bandgap* ou *band*, representada por E_G (Figura 15). Uma característica importante que semicondutores apresentam, devido à existência dessas bandas, é o aumento da condutividade com a temperatura, ocasionado pela excitação térmica de elétrons da banda de valência para a banda de condução, deixando “lacunas” ou “buracos” na banda de valência, sendo constituídos de carga positiva, cuja mobilidade é cerca de 1/3 da dos elétrons na banda de condução (PINHO; GALDINO, 2014).

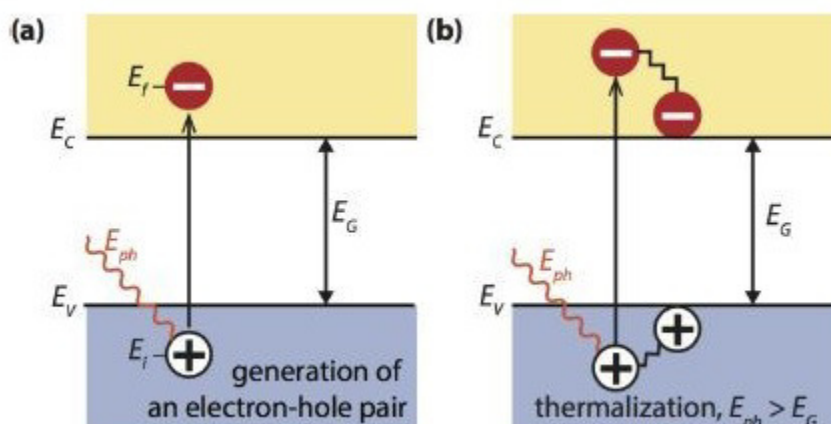


Figura 15 – Efeito Fotovoltaico em um Semicondutor Ideal
 Fonte: Smets *et al.* (2015).

Na Figura 15 é ilustrada a absorção de um fóton (photon E_{ph}) em um semiconductor com *bandgap* (E_G), em que pode ser absorvidos somente se os níveis de energia dos elétrons E_i (banda inicial de menor energia) são excitados para a banda E_f (banda final de maior energia), conseqüentemente criando uma lacuna em E_i , resultando em uma diferença de potencial (a); se a energia do photon (E_{ph}) é maior que E_G , ou seja, $E_{ph} > E_G$ parte da energia é termalizada (SMETS *et al.*, 2015).

O material semiconductor utilizado para construir uma célula fotovoltaica é o silício cristalino, o qual é cortado em lâminas muito finas. Algumas destas lâminas são, em seguida, "dopadas" com material contaminante (tipo p – receptor), criando assim um desequilíbrio de elétrons conhecida como “lacunas” ou “buracos”, na banda de valência. Em seguida, são adicionados materiais dopantes do tipo doador (tipo n), o que ocasiona o aparecimento de elétrons livres. Entre as regiões tipo p e tipo n formam-se a junção tipo p-n (Figura 16), onde é ocasionado um campo elétrico interno que é responsável pela consolidação da conversão fotovoltaica (ZILLES *et al.*, 2012).

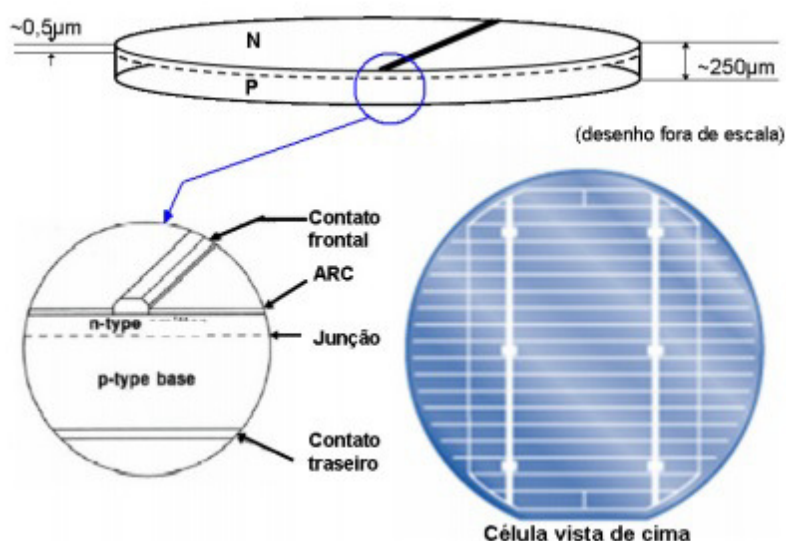


Figura 16 – Detalhe de uma Célula Fotovoltaica
Fonte: Urbanetz Junior (2010).

Dessa maneira, as lâminas são alinhadas para formar uma célula fotovoltaica, sendo assim ligadas por meio de tiras de metal (Figura 16) condutor para condução de corrente elétrica. Quando um fóton atinge a célula fotovoltaica, podem ocorrer três eventos: ele pode ser absorvido pela célula, refletida fora da

célula ou atravessar essa célula. Somente quando este fóton é absorvido pelo material semiconductor é que uma corrente elétrica é gerada (Figura 17), assim quanto maior a intensidade de luz (maior intensidade de fótons), maior a corrente elétrica gerada (BOXWELL, 2015).

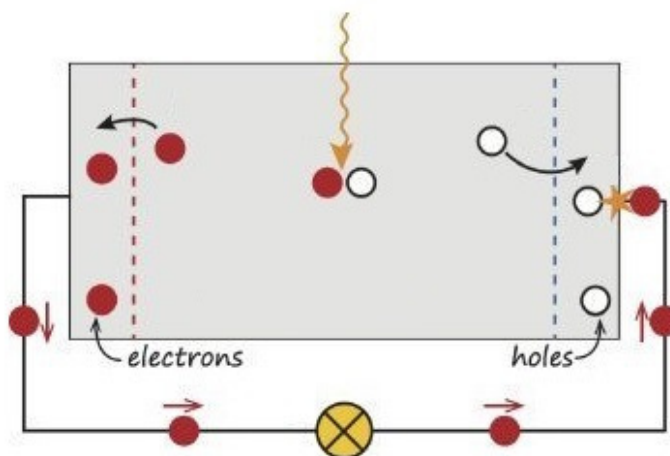


Figura 17 – Processo de Conversão Fotovoltaica
Fonte: Adaptado de Smets *et al.* (2015).

Neste sentido, na Figura 17 é representada a absorção de um fóton à geração de um par de lacunas elétrons, em que haverá a recombinação desses pares. Deste modo, os elétrons passarão pelas lacunas e podem ser utilizados para acionar um circuito elétrico, conseqüentemente recombinando-se com as lacunas (SMETS *et al.*, 2015). As células fotovoltaicas constituem os módulos FV, os quais atuam como gerador FV e que serão descritos a seguir.

2.4.3 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica

Conforme Urbanetz Junior (2010), os SFVCR são sistemas complexos, embora constituídos basicamente por painel FV e inversor, onde não são empregados elementos armazenadores de energia elétrica. Neste sentido, a rede elétrica da concessionária atua como o elemento armazenador, devido a toda energia gerada ser colocada em paralelo com a energia da rede. A seguir são apresentados os componentes dos SFVCR, as definições de módulos FV, inversor,

proteções elétricas para tais sistemas, bem como a função de cada item dentro desse contexto.

2.4.3.1 Módulo fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico é composto de um conjunto de células dispostas sobre uma estrutura rígida e interligadas eletricamente. Geralmente as células são ligadas em série para produzir tensões maiores. Na sua parte posterior, há uma caixa de conexões elétricas, para a ligação dos cabos elétricos fornecidos junto com o módulo. Os cabos possuem conectores padronizados, permitindo a rápida conexão de módulos em série (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Entretanto, uma importante observação deve ser feita quanto às conexões em série no que se refere ao sombreamento individual de células FV. Quando eventualmente uma destas for sombreada, o desempenho daquela célula será reduzido. Neste sentido, se outro módulo não sombreado é ligado em paralelo, o primeiro resultará em aquecimento da célula sombreada, o que pode ser resolvido com a instalação de diodos *bypass*, protegendo contra fluxos de corrente para uma ou mais células fotovoltaicas no módulo (MESSENGER; VENTRE 2010).

Além de compor a associação de células, o módulo tem ainda a função de proteger as células das intempéries, isolá-las eletricamente de contatos exteriores e fornecer rigidez mecânica ao conjunto. O módulo FV, conforme mostrado na Figura 18, é constituído por um vidro temperado e antirreflexivo para a cobertura frontal, por um material encapsulante transparente e isolante (EVA- acetato de vinil-etila), pelas células FV, as quais são ligadas entre si por pequenas tiras metálicas fornecendo contatos externos de saída. Em sua parte posterior encontra-se uma cobertura, geralmente constituída de polifluoreto de vinila, por uma estrutura metálica que suporta todo o equipamento e por uma caixa de conexões elétricas, como já mencionado anteriormente (ZILLES *et al.*, 2012).

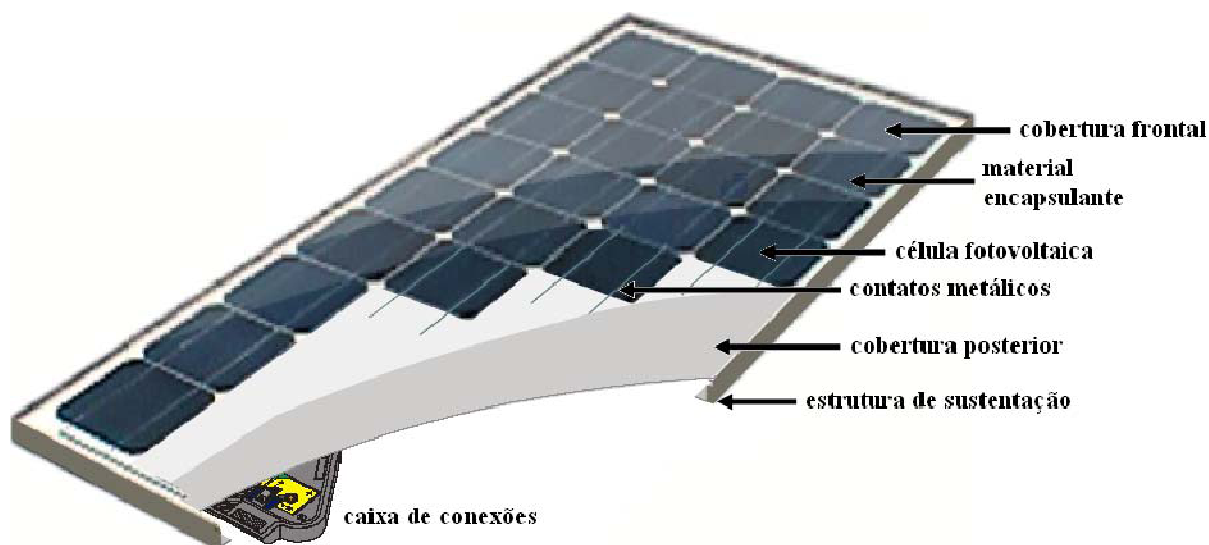


Figura 18 – Partes constituintes de um módulo fotovoltaico
 Fonte: Zilles *et al.* (2012).

No entanto, um módulo pode somente produzir limitados índices de energia, não sendo suficientes para alimentar circuitos elétricos de edificações residenciais e comerciais, e por esse motivo os módulos são conectados em arranjos, agrupados de forma que podem fornecer maiores tensões e correntes sendo este arranjo denominado de painel FV, conforme Figura 19 onde é mostrada a hierarquia FV, ou seja, a célula, o módulo e o painel (GREGORY, 2015) (MESSENGER; VENTRE 2010).

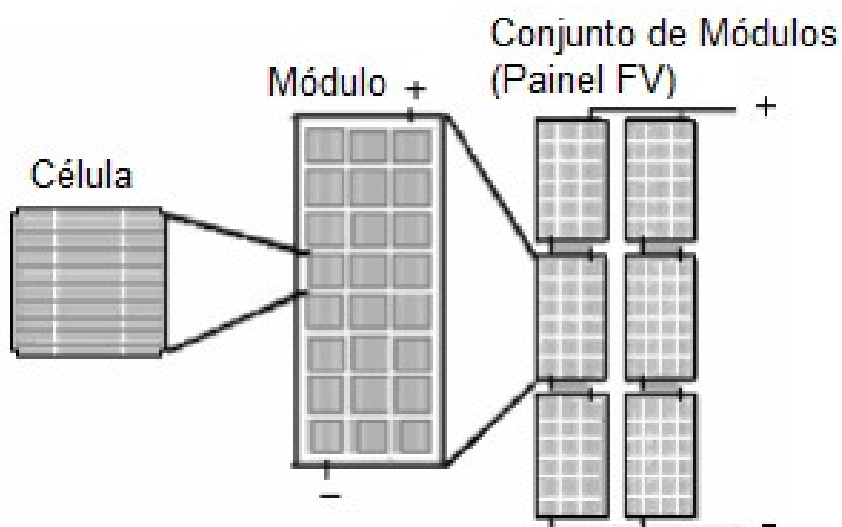


Figura 19 – Hierarquia Fotovoltaica
 Fonte: Adaptado de Leva *et al.* (2004).

Messenger e Ventre (2010) afirmam que quando os módulos são conectados em série geralmente resultam em altas tensões, enquanto que conexão de módulos em paralelo resulta em altas correntes. Portanto, a configuração do arranjo FV visa adequar o desempenho do sistema de acordo com as características de entrada de cada inversor. Este equipamento é utilizado nos SFVCR, converte a corrente contínua (CC) originada dos módulos em corrente alternada (CA) que será visto na subseção seguinte (SMETS *et al.*, 2015).

2.4.3.2 Inversor

O inversor é o dispositivo eletrônico que converte energia elétrica em CA a partir de uma fonte de energia elétrica em CC. A energia CC pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos, objeto dessa pesquisa. No que se refere aos parâmetros elétricos, este equipamento deve apresentar uma tensão CA de saída com amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede (PINHO; GALDINO, 2014, p. 216).

Neste sentido Campos (2015) ressalta que esses equipamentos devem possuir a proteção anti-ilhamento, fenômeno descrito anteriormente, conferindo segurança aos operadores e técnicos, quando na eventual manutenção e operação da rede elétrica local. Dessa forma, a regulamentação de inversores quanto à segurança na operação é garantida e regulamentada por normas internacionais e nacionais, como a IEEE-519, IEEE-929, IEC-62116 e a recente NBR IEC 62116, sendo consenso entre todas essas normas um tempo máximo de desconexão do inversor equivalente a 2 segundos, após a detecção do desligamento da rede elétrica.

Outro importante aspecto na operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede é o ponto de operação a que estão submetidos os módulos fotovoltaicos. Estes apresentam uma região de operação chamada de ponto de máxima potência (MPP), função presente no inversor de SFVCR, onde a potência fotogerada, que é o produto tensão x corrente, proporciona seu máximo valor. Esse valor varia

continuamente em função da irradiância e da temperatura. Conseqüentemente, sistemas que também de modo contínuo busquem colocar os módulos fotovoltaicos para operar em MPP são capazes de melhorar o desempenho do sistema (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Com relação à potência nominal, os inversores empregados em microgeração geralmente são monofásicos com potências tipicamente de até 5 kW, podendo ser utilizado mais de um inversor para um determinado arranjo fotovoltaico separado por strings, ou seja, módulos fotovoltaicos conectados em série (VILLALVA; GAZOLI, 2012) (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Portanto, a escolha do inversor em um SFVCR deve considerar diversos parâmetros, dentre eles: a tensão de entrada, potência nominal, quantidade de strings que o inversor suporta, sistema de diagnóstico e monitoramento de parâmetros como tensão e frequência da rede, e sua homologação obrigatória para atuação junto à rede (BOXWELL, 2015).

2.4.3.3 Proteções elétricas

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 246), o correto dimensionamento e a adequada utilização de dispositivos de proteção contribuem para a minimização ou até mesmo a eliminação de falhas. Desse modo, o avanço tecnológico dos componentes dos SFVCR faz com que todos eles apresentem, além de robustez, dispositivos de proteção integrados. Neste sentido, além dos dispositivos de proteção integrados aos equipamentos, a instalação de outros dispositivos de proteção deve ser prevista, como disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), conforme é mostrado na Figura 20.

Para garantir segurança às manobras elétricas, a regulamentação ANEEL inicialmente exigia como padrão técnico, a instalação, após o medidor, de uma chave seccionadora sob carga, denominada de dispositivo de seccionamento visível (DSV), utilizada para garantir a desconexão da geração fotovoltaica durante procedimentos de manutenção da rede (PINHO; GALDINO, 2014, p. 246).

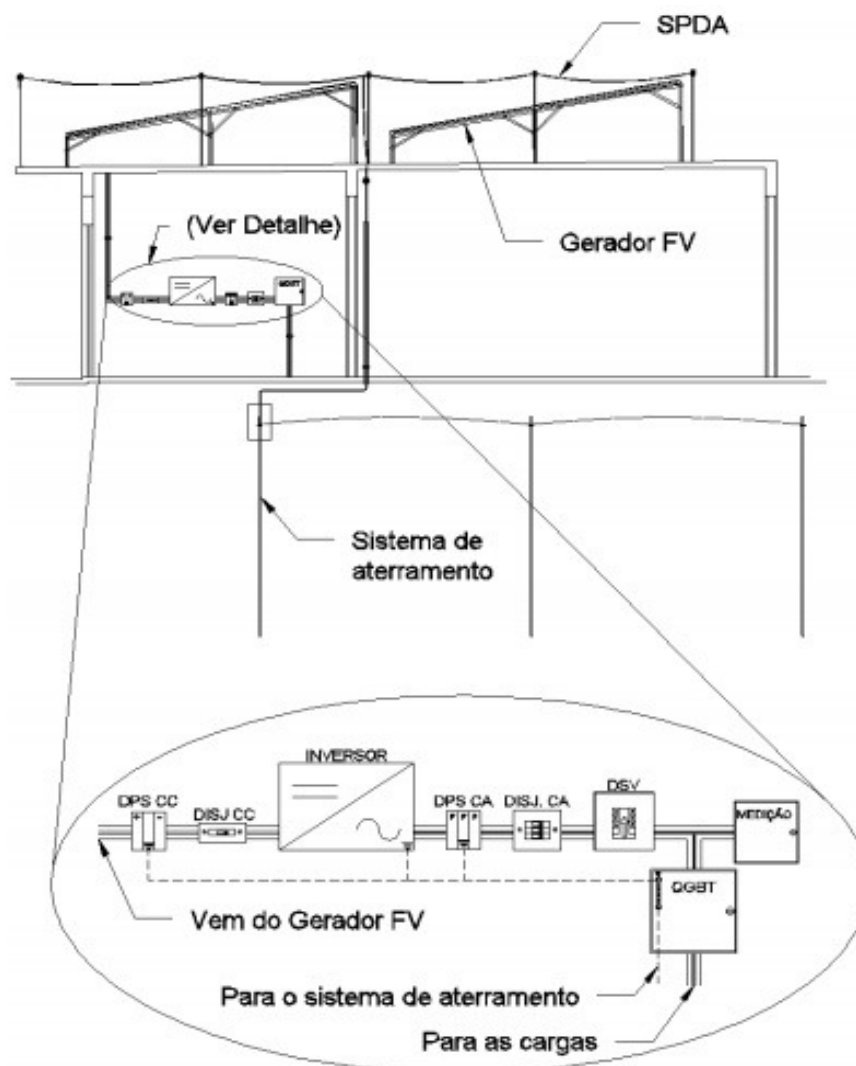


Figura 20 – Esquema Típico de Dispositivos de Proteção
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Entretanto, o uso do DSV não é mais obrigatório conforme regulamentação da ANEEL, cabendo ao projetista sua aplicação no projeto e dimensionamento dos SFVCR que será visto na subseção seguinte.

2.4.4 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

Conforme Urbanetz Junior (2012), o dimensionamento dos componentes empregados em SFVCR pode ser iniciado a partir do levantamento da demanda de energia da edificação onde se deseja fazer a integração FV. Este levantamento

normalmente é realizado através das faturas de energia elétrica fornecidas pela concessionária de energia ao longo, preferencialmente, dos últimos doze meses.

Quando se trata de edificações novas, em construção ou em fase de projeto, o Quadro de Previsão de Cargas é estimado de acordo com as cargas presentes na instalação. Assim, tendo posse das faturas de energia, tem-se o consumo de cada mês do ano, o consumo médio diário e o consumo anual (em kWh) (URBANETZ JUNIOR, 2012).

O próximo passo, segundo Urbanetz Junior (2012), é a definição do percentual do consumo a ser suprido. Geralmente este parâmetro está atrelado à área disponível para integração FV e ao capital disponível para o investimento no sistema FV, e esta área pode ser calculada de acordo com a área dos módulos FV, conforme Equação 1.

$$N_{mód} = \frac{\mathit{Área}_{disp}}{\mathit{Área}_{mód}} \quad (1)$$

Onde:

$N_{mód}$: número de módulos;

$\mathit{Área}_{disp}$: área disponível;

$\mathit{Área}_{mód}$: área de módulos.

Deste modo, pode-se iniciar o dimensionamento a partir de uma quantidade pré-definida de energia a ser gerada e conseqüentemente será necessária certa área e capital para realizar a implementação deste sistema FV, ou ainda pode-se partir de uma área a ser utilizada obtendo a estimativa de geração e do capital necessário. A partir da potência do módulo e sua quantidade é possível calcular o valor da potência de pico instalada do painel ou arranjo, conforme Equação 2 (URBANETZ JUNIOR, 2012).

$$P_{FV} = P_{mód} \times N_{mód} \quad (2)$$

Onde:

P_{FV} : potência fotovoltaica de pico instalada (Wp);

$P_{mód}$: potência dos módulos;

$N_{\text{mód}}$: número de módulos.

Urbanetz Junior (2012) afirma que para maximizar a geração anual em um SFVCR, a inclinação dos módulos deve ser correspondente a latitude local, para o caso de Curitiba, 25° e orientado para o norte geográfico. A partir dos valores históricos de irradiação global no plano horizontal é possível conhecer as irradiações incidentes, como média mensal do total diário fornecidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), através do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Entretanto, mediante a aplicação do programa RADIASOL (descrito no capítulo 3), determinam-se as irradiações incidentes no plano inclinado, e através da Equação 3, estima-se a geração de energia elétrica diária média.

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \quad (3)$$

Onde:

E: energia elétrica diária média (Wh/dia);

P_{FV} : potência fotovoltaica de pico instalada (Wp);

H_{TOT} : irradiação solar diária média para a localidade em questão, (Wh/m².dia);

PR: taxa de Desempenho ou Performance Ratio, tipicamente entre 70 e 80%;

G: irradiância nas Condições Padrão de Teste (1.000 W/m²).

Os condutores serão dimensionados conforme a Equação 4 admitindo-se uma queda de tensão máxima de 4% (ΔV), tanto no lado CC (corrente contínua) quanto no lado CA (corrente alternada) (URBANETZ JUNIOR, 2012).

$$S_{\text{cond}} = \left(\frac{2 \times L \times P \times 0,0178}{V^2 \times \Delta V} \right) \quad (4)$$

Onde:

S_{cond} : é a área da seção transversal do condutor (mm²);

L: comprimento do condutor (m);

P: potência total do circuito (W);

V: tensão do barramento CC ou CA (V);

ΔV : queda de tensão máxima de 4%.

Por fim, a partir destas etapas, serão especificados os módulos FV, os inversores e os demais dispositivos que compõem o sistema. O dimensionamento de inversores para SFVCR, conforme Pinho e Galdino (2014) está atrelado à potência de pico do painel fotovoltaico, a tecnologia do módulo utilizado e a topologia do arranjo fotovoltaico, atendendo também a homologação conforme legislação vigente apresentada a seguir.

2.4.5 Legislação Vigente no Brasil

Conforme citado anteriormente, desde 17 de abril de 2012, o Brasil possui uma regulamentação específica para geração distribuída de energia, a Resolução Normativa 482 da ANEEL, em que os consumidores podem gerar sua própria energia por meio de energias renováveis, trocando energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica. Devido ao aumento nas instalações de sistemas geradores de energia, a ANEEL aprovou aprimoramentos na Resolução Normativa nº 482/2012, ampliando e agilizando o acesso ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica aos usuários (ANEEL, 2015).

Segundo as novas regras, a Resolução Normativa nº 687/2015 que começaram a valer a partir de 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

Assim, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo

que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2015).

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores (ANEEL, 2015).

A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2015).

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet (ANEEL, 2015).

No Paraná, a legislação vigente é abordada através da Norma Técnica da COPEL (NTC) 905200: Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da COPEL atende a resolução 482 de abril de 2012, da ANEEL, que definiu um prazo de 240 dias a partir da sua publicação para as 38 concessionárias de energia elétrica incluírem em seu acervo de normas técnicas os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída (CAMPOS, 2015).

Para a modalidade de microgeração, cuja potência instalada do gerador distribuído é de no máximo 75 kW, é necessário formular o requerimento de acesso à rede elétrica da COPEL, entregando toda a documentação que consta no capítulo 4.1.1 da NTC 905200, sendo que o ponto de conexão do inversor é definido após a medição, sendo a critério do consumidor a sua posição (CAMPOS, 2015).

Neste sentido, a NTC declara explicitamente a total responsabilidade do acessante pela correta proteção da sua instalação, incluindo a geração distribuída,

sendo necessárias as proteções anti-ilhamento e de abertura do circuito da geração em caso de falta de sincronia entre o gerador e a rede da COPEL. São abordados requisitos gerais de projeto, em que constam uma série de recomendações do que deve conter o projeto elétrico a ser analisado e aprovado pela COPEL, antes de qualquer implantação do mesmo. A etapa que segue a aprovação do projeto é a sua implantação para, posteriormente, ser solicitada a vistoria da COPEL, que verificará rigorosamente se a execução foi em conformidade com o projeto analisado (CAMPOS, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta secção aborda os métodos utilizados para a condução da pesquisa para análise do potencial de geração fotovoltaica da instituição, assim como o levantamento de diversas informações inerentes a realização desta. O levantamento de informações possibilita a obtenção de parâmetros para caracterização de curvas de geração fotovoltaica e níveis de penetração energética, que serão elaboradas a partir dos SFVCR instalados na UTFPR e dos cenários propostos. A finalidade desta análise é a redução da demanda energética, contribuição na redução do consumo de energia e a quantificação das emissões de CO₂ equivalente que podem ser evitadas com a energia gerada na edificação dos campi da UTFPR – câmpus Curitiba.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Conforme Lakatos e Marconi (2003) o emprego de métodos científicos é necessário à ciência, de forma que podem ser definidos como o conjunto das atividades sistemáticas permitindo alcançar o objetivo proposto, e onde a teoria serve como orientação para restringir e delimitar a amplitude dos fatos a serem estudados.

Neste contexto, esta pesquisa apresenta classificação, tipo e métodos de abordagem e procedimentos inerentes a cada tratamento científico utilizado. Assim, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois no âmbito da sociedade em que o pesquisador vive, abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas que foram identificados por ele, onde é voltada à aquisição de conhecimentos em uma situação específica, por meio de teorias já formuladas, onde envolve verdades e interesses locais (GIL, 2002).

Quanto à natureza, esta pesquisa é qualitativa em que se busca uma compreensão mais detalhada sobre um determinado fato, com o objetivo de proporcionar o conhecimento das informações para se explicar o significado e as características do contexto onde se encontra o objeto de estudo (GRAY, 2012).

A pesquisa proposta se caracteriza como uma pesquisa explicativa, devido à sua preocupação central em identificar fatores determinantes ou que possam contribuir para a ocorrência dos fenômenos. Desse modo, a pesquisa explicativa aprofunda o conhecimento da realidade, explicando a causa de forma mais abrangente, o que, no entanto, aumenta consideravelmente o risco de cometer erros devido a sua complexidade (GIL, 2002).

Koche (2011) evidencia que nesse tipo de pesquisa o investigador faz uma análise aprofundada do problema, construindo suas hipóteses mediante a manipulação dos possíveis fatores e variáveis referentes ao fenômeno observado, a fim de estimar como suas relações preditas se estabelecem pelas hipóteses. Koche (2011, p. 122) afirma que “a manipulação na quantidade e qualidade das variáveis proporciona o estudo da relação entre causas e efeitos de um determinado fenômeno, podendo o investigador controlar e avaliar os resultados dessas relações”.

O método de abordagem empregado nesta pesquisa é o hipotético-dedutivo em que parte de um problema, ao qual se oferece hipoteticamente uma solução provisória, uma teoria-tentativa, onde posteriormente passa-se a questionar a solução, objetivando na eliminação do erro, conseqüentemente renovando o processo de pesquisa, viabilizando o surgimento de novos problemas e soluções. Assim, inicia-se com expectativas hipotéticas e, nesse contexto, é que se dá a observação, uma vez que acontece algo inesperado, ou alguma expectativa é frustrada, ou ainda quando alguma teoria cai em dificuldades. Portanto, a observação não é o ponto de partida da pesquisa, mas o problema. Logo, o crescimento do conhecimento parte do princípio de solução de antigos problemas para novos através de conjecturas e refutações (LAKATOS; MARCONI, 2003).

A delimitação do problema viabiliza o surgimento da seguinte questão norteadora seguidas das hipóteses aplicáveis à pesquisa, e estas serão testadas através do estudo de campo proposto:

- A inserção de SFVCR é capaz de reduzir e aliviar os picos de demanda energética bem como contribuir com a redução do consumo de energia elétrica na edificação?
- O SFVCR aumenta a oferta de energia no sistema elétrico.
- A geração fotovoltaica distribuída promove a redução de emissões de Gases do Efeito Estufa na matriz elétrica de Curitiba.

- A geração fotovoltaica distribuída possibilita adiar a expansão convencional do sistema elétrico.

Lakatos e Marconi (2003) definem pesquisa de campo como aquela que pode ser utilizada a fim de se obter informações, conhecimentos e dados sobre um determinado problema, para o qual se busca uma resposta, ou a partir de uma hipótese, a qual se deseja comprovar ou corroborar, ou ainda a descoberta de novos fenômenos e suas relações entre si. Dessa forma, esse tipo de pesquisa consiste na observação de fatos e fenômenos tais como ocorrem espontaneamente, no levantamento de informações inerentes ao objeto de investigação e no apontamento de variáveis pressupostas relevantes, para posterior análise.

Contudo, a pesquisa de campo se assemelha ao levantamento, no que diz respeito ao amplo alcance e a maior profundidade, respectivamente. Portanto, dentro dessas distinções, pode-se definir que

o levantamento procura ser representativo de universo definido e oferecer resultados caracterizados pela precisão estatística. Já o estudo de campo procura muito mais o aprofundamento das questões propostas do que a distribuição das características da população segundo determinadas variáveis.

Assim, a pesquisa de campo apresenta maior flexibilidade que o levantamento em sua fase de planejamento, podendo ocorrer reformulações, como por exemplo, em seus objetivos e hipóteses ao longo da pesquisa (GIL, 2002, p. 53).

3.2 OBJETO DE ESTUDO DA PESQUISA: UTFPR - CÂMPUS CURITIBA

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) é a primeira e única universidade que recebeu essa denominação no Brasil e, por este motivo, apresenta uma história um pouco diferente das outras universidades. A Instituição não foi criada e, sim, transformada a partir do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR). Originou-se da Escola de Aprendizes Artífices, fundada em 1909 e destinado a jovens de camadas menos favorecidas da

sociedade, herdando uma longa e expressiva trajetória na educação profissional no país (UTFPR, 2016a).

Neste sentido, a UTFPR (2016a) tem como missão o desenvolvimento da educação tecnológica de excelência por meio do ensino, pesquisa e extensão, interagindo de forma ética, sustentável, produtiva e inovadora com a comunidade para o avanço do conhecimento e da sociedade. A instituição tem como visão de futuro ser modelo educacional de desenvolvimento social e referência na área tecnológica. Dessa forma, contribuir com o alcance do desenvolvimento sustentável e disseminação do conhecimento através da prática acadêmica, disseminação tecnológica e aplicação de estratégias sustentáveis, como por exemplo, a implantação de SFVCR que serão descritos nos itens seguintes, viabilizando o alcance dos valores institucionais.

Conforme Figura 21, o câmpus Curitiba está dividido em três sedes: sede Centro, Ecoville e Neville, localizados nos bairros Rebouças, Campo Comprido e Cidade Industrial respectivamente na cidade de Curitiba.



Figura 21 – Vista dos Campi da UTFPR - Curitiba
Fonte: UTFPR (2016b).

Neste sentido, a sede Centro iniciou suas atividades no ano de 1936, ainda como Escola de Aprendizes Artífices do Paraná, ministrando o ensino fundamental e curso profissionalizante em período integral (UTFPR, 2016a). A sua área total é de 23.172 m², e sua entrada principal se encontra na Avenida Sete de Setembro, nº 3.165, no bairro Rebouças, com latitude -25,44° e longitude -49,27°. Esta sede

possui 2 blocos que não se encontram no mesmo prédio, o Bloco V e Bloco J1, que estão localizados na Rua Silva Jardim, nº 807 e na Rua Desembargador Westphalen, nº 637 respectivamente, ambos próximos às imediações da entrada principal.

O prédio aloca a maioria dos cursos técnicos, graduação e programas de pós-graduação, assim como os setores administrativos e a diretoria geral do câmpus. Também se encontram alocados na sede Centro uma parte do centro acadêmico de educação física, onde se encontra a piscina, as canchas e ginásios poliesportivos. Devido a sua localização inserida no meio de um centro urbano, é a sede com a maior mobilidade urbana, facilitando o acesso aos demais bairros e cidades vizinhas. O centro acadêmico de línguas estrangeiras e a reitoria se encontram nesta sede, assim como a biblioteca central, restaurante universitário e auditório principal, sediando a maioria dos eventos culturais do câmpus Curitiba. Na Figura 22 é mostrada a sede Centro do câmpus Curitiba.



Figura 22 – Vista Aérea da Sede Centro
Fonte: UTFPR (2016b).

A sede Ecoville (Figura 23) por sua vez, deu início às suas atividades no início no primeiro semestre letivo do ano de 2011, com a transferência de todo o Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) e de parte das atividades Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI). Atualmente, a sede Ecoville além do DACOC e DAQBI, aloca também o Departamento Acadêmico de

Engenharia Mecânica (DAMEC), e por esse motivo a sede ocupa dois terrenos com área total de 59.000 m² metros quadrados com 24.500 m² de área construída. A entrada principal se encontra na Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, nº 4.900, no bairro Campo Comprido, com latitude -25,44° longitude -49,35° (UTFPR, 2016c).



Figura 23 – Vista Aérea da Sede Ecoville
Fonte: UTFPR (2016c).

Na Figura 23 é apresentada a vista aérea da sede Ecoville, onde compreende salas de aula, laboratórios, salas de atividades específicas, administração, biblioteca, restaurante universitário e incubadora tecnológica (UTFPR, 2016c). Nota-se pela figura, que esta sede está inserida no meio urbano, entretanto o adensamento habitacional é menor que a sede Centro, caracterizado até o presente momento por construções habitacionais.

A mais recente instalação da UTFPR é a sede Neville, a qual iniciou suas atividades no ano de 2016, situada na Rua Pedro Gusso, nº 2.601 (antiga empresa Equitel-Siemens), com latitude -25,50° e longitude -49,32°, no bairro Cidade Industrial de Curitiba. De acordo com a UTFPR (2016d), a área foi adquirida no final de 2014 e ao longo do ano de 2015 recebeu diversas adequações permitindo assim o início das atividades do Departamento Acadêmico de Educação Física (DAEFI), que iniciou seu período letivo no primeiro semestre de 2016.

Até o presente momento, a sede Neville (Figura 24) conta com a maior área, ocupando 245.000 m² e uma área construída total de 31.000 m², com previsão que atuem mais de 850 docentes e pesquisadores, 250 técnicos-administrativos, 120 terceirizados e aproximadamente 9.000 estudantes distribuídos nos três turnos diários (UTFPR, 2016d).



Figura 24 – Vista Aérea da Sede Neville
Fonte: UTFPR (2016d).

Conforme Figura 24, o terreno ocupa uma extensa área verde com 32.000 m² de mata nativa onde abriga 115 espécies vegetais já catalogadas distribuídas em 52 famílias botânicas, e observadas mais de 25 diferentes espécies de aves (UTFPR, 2016d).

3.3 COLETA DE DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR

Essa seção apresenta os dados necessários ao desenvolvimento dessa pesquisa, bem como a descrição dos *softwares* utilizados para levantamento de dados e departamentos responsáveis pelas informações, que conforme vistos nos

itens anteriores se apresentam como variáveis dentro do estudo de campo, possibilitando a avaliação e controle de suas inter-relações para obtenção dos resultados esperados.

As informações relevantes para essa pesquisa são: coordenadas geográficas, adquiridas por meio da aplicação do *software Google Earth*, dados solarimétricos, obtidos através banco de dados nacionais e locais, análise de áreas disponíveis para alocação dos módulos fotovoltaicos, análise do fator de sombreamento que pode ser simulado através da aplicação do *software Sketch Up* viabilizando estratégias para aumentar a área de maior irradiação solar e por fim, levantamento de dados de energia e demanda da edificação obtidas pela concessionária de energia elétrica local.

3.3.1 Coordenadas Geográficas

O levantamento de informações referentes às coordenadas geográficas dos locais escolhidos para a pesquisa será realizado a partir da aplicação do programa *Google Earth Pro*. Esse programa possibilita pesquisar e visualizar lugares de forma simples e rápida, pois o recurso conta com um banco de dados de diversos locais do mundo, através de fotos e imagens em 2D e 3D de construções, oceanos e até mesmo imagens do espaço, conforme é mostrado na Figura 25.

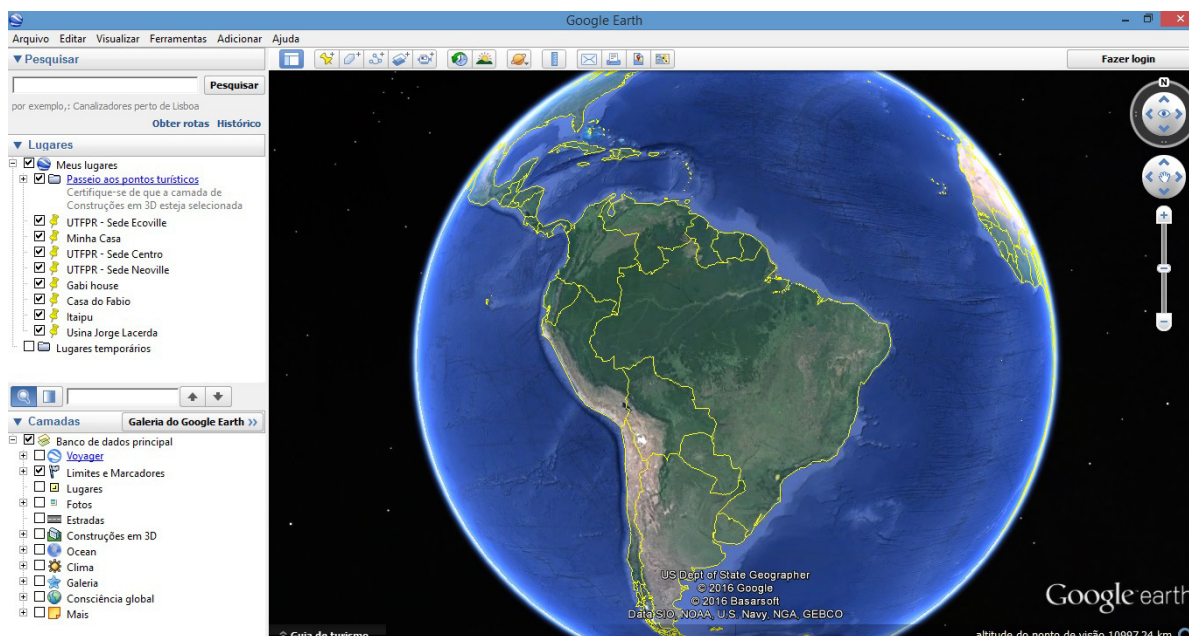


Figura 25 – Interface Inicial do Programa Google Earth Pro
Fonte: Google Earth Pro (2016).

Para o estudo em questão, as informações sobre as coordenadas de cada local serão inseridas na caixa de entrada do *menu* iniciar pesquisa e posteriormente será fixado um marcador no local escolhido, o qual contem dados precisos sobre as coordenadas geográficas referentes à latitude e longitude local (GOOGLE EARTH, 2016). Esta é a etapa inicial da pesquisa, e após sua execução, será possível localizar dados solarimétricos nos bancos de dados meteorológicos referentes à irradiação solar descritos no subitem seguinte.

3.3.2 Dados Solarimétricos

Os dados solarimétricos se referem a valores de irradiação solar, aferidos por meio de instrumentos específicos para sua mensuração, incidente em um determinado local durante um determinado período de tempo. Esses dados podem ser obtidos através de banco de dados nacionais ou *softwares* desenvolvidos por empresas do setor elétrico, grupos de pesquisas, universidades e fabricantes ou representantes de equipamentos fotovoltaicos.

Pinho e Galdino (2014, p. 85) afirmam que a partir do histórico dessas medições, “pode-se viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em uma

determinada região, garantindo o máximo aproveitamento do recurso ao longo do ano”, pois há variações da intensidade irradiação solar de acordo com a localização geográfica. Por esse motivo, conhecer do recurso solar é a variável que apresenta maior relevância para o desenvolvimento de um projeto de sistema de aproveitamento da energia solar.

3.3.2.1 Dados solarimétricos do INMET

O INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) é um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, responsável pela promoção de informações meteorológicas à sociedade através do portal de acesso (Figura 26) na internet <http://www.inmet.gov.br/> ou por solicitação de dados no local ou meio eletrônico, disponibilizados gratuitamente (INMET, 2016).

Neste sentido, o órgão tem diversas funções, dentre elas elaborar e divulgar, diariamente, em nível nacional, a previsão do tempo, anunciar avisos e boletins meteorológicos especiais; promover a execução de estudos e levantamentos meteorológicos e climatológicos referente à agricultura e outras atividades correlatas; coordenar, elaborar e executar programas e projetos de pesquisas agrometeorológicas e de acompanhamento das modificações climáticas e ambientais; estabelecer, coordenar e operar as redes de observações meteorológicas e de transmissão de dados, propor a programação e acompanhar a implementação de capacitação e treinamento de recursos humanos, em atendimento a demandas técnicas específicas (INMET, 2016).

Desse modo, conforme INMET (2016) o banco de dados meteorológicos do INMET já incluiu, em forma digital, em seu acervo, informações diárias coletadas desde 1961, e um projeto de recuperação digital de dados históricos se encontra em execução, que por sua vez acrescentará à base de dados meteorológicos aproximadamente 12 milhões de documentos.

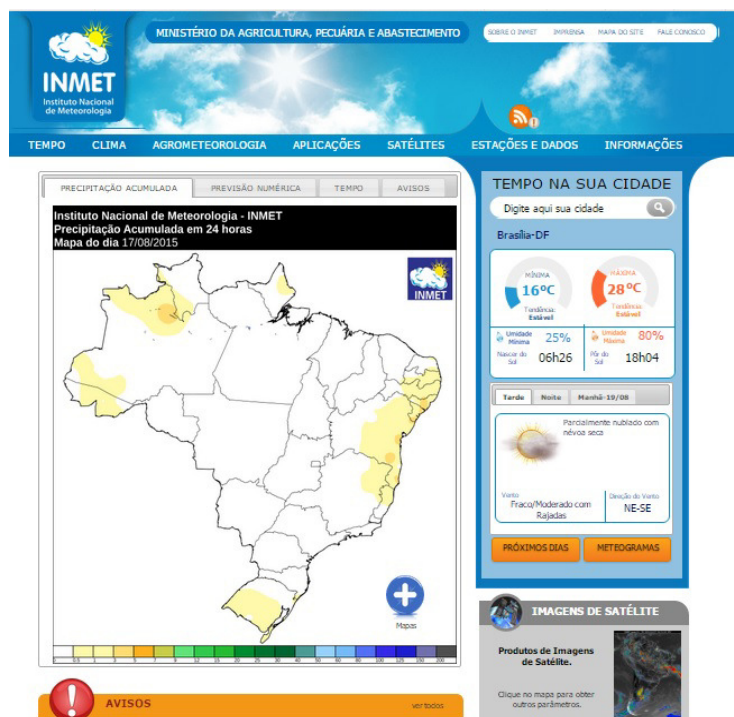


Figura 26 – Portal do INMET
Fonte: INMET (2016).

A partir do portal, é possível coletar diversos parâmetros meteorológicos como: temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, dentre outras variáveis cujas medidas tomadas são mensuradas em intervalos de minuto a minuto, e integralizadas no período de uma hora. Para a coleta e armazenamento desses dados, o instituto é dotado de estações de sondagem de ar superior (radiossonda); estações meteorológicas de superfície, operadas manualmente; e a maior rede de estações automáticas da América do Sul (INMET, 2016).

Os dados considerados para a presente pesquisa serão coletados a partir das estações automáticas, que são constituídas por: subsistema de coleta de dados, através de sensores que medem as variáveis ambientais; subsistema de controle e armazenamento local em datalogger; subsistema de energia; subsistema de comunicações; subsistema de banco de dados; e subsistema de disseminação de dados aos usuários. Entretanto, o portal disponibiliza estes dados por um período de 1 ano (INMET, 2016). Para a análise proposta por esta pesquisa, serão apenas considerados os dados de irradiação solar, a fim de comparar com os outros modelos existentes e escolhidos por esta pesquisa.

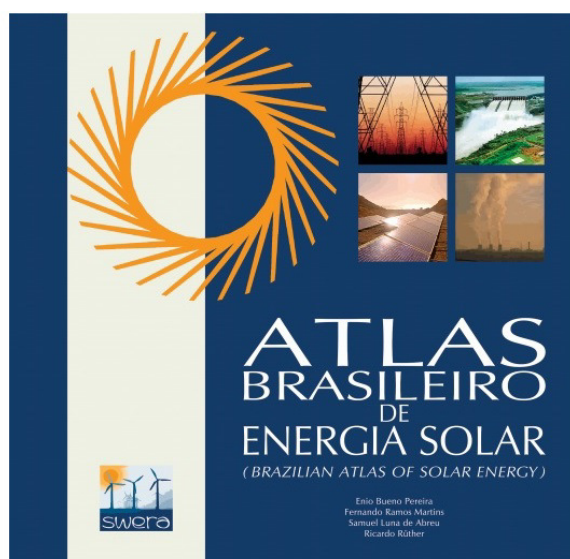
3.3.2.2 Banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar

De acordo com Pereira *et al.* (2006), o Atlas Brasileiro de Energia Solar é uma base de dados elaborada a partir de dados históricos de estudos climáticos, realizados por meio de valores medidos em diversas estações meteorológicas instaladas em distintos locais no Brasil. Esse documento faz parte do Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), o qual inclui uma série de informações englobando desde mapas e dados digitais das diversas componentes da irradiação solar, até dados detalhados de infraestrutura e parâmetros socioeconômicos dos países participantes deste projeto-piloto.

As informações presentes nessa base de dados são confiáveis e de alta qualidade, devido à sua compatibilidade com sistemas de informação geográfica (SIG) e, por este motivo pode ser facilmente utilizada em estudos de viabilidade econômica no desenvolvimento de projetos. Diversos foram os parceiros envolvidos nesse projeto, os quais utilizaram o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR e de uma base geo-referenciada de dados ambientais e sócio-econômicos disponibilizados por diversos parceiros nacionais e internacionais disponibilizados gratuitamente (PEREIRA *et al.*, 2006).

De acordo com Pereira *et al.* (2006), o modelo BRASIL-SR, no qual fornece estimativas de irradiação solar mediante comparação com valores medidos em superfície em estações distribuídas pelo território brasileiro. Os dados utilizados foram coletados em estações da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia) assim como dados medidos em plataformas de coleta de dados. Estas plataformas de coleta de dados foram instaladas e são coordenadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) que estão disponíveis para acesso no site: <http://www.cptec.inpe.br/>.

Na Figura 27 é mostrada a imagem do Atlas Brasileiro de Energia Solar, e os dados de irradiação global horizontal para a cidade de Curitiba com suas respectivas longitudes.



LONGITUDE	LATITUDE	JANEIRO	FEVEREIRO	MARCO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	ANUAL
-49,58	-25,25	5,75	5,59	5,02	4,21	3,36	2,96	3,24	4,14	4,35	5,15	6,04	5,98	4,65
-49,48	-25,25	5,74	5,62	5,06	4,23	3,24	2,98	3,29	4,19	4,36	5,19	5,97	6,01	4,66
-49,38	-25,25	5,74	5,63	5,07	4,19	3,33	3,02	3,34	4,23	4,39	5,16	6,02	6,01	4,68
-49,28	-25,25	5,78	5,57	5,05	4,16	3,30	3,05	3,34	4,22	4,36	5,08	5,99	5,97	4,66

Figura 27 – Atlas Brasileiro de Energia Solar e Dados de Irradiação Global Horizontal para Curitiba

Fonte: Pereira *et al.* (2006).

Com relação aos dados históricos e mapas solarimétricos presentes nesse documento, são referentes ao período de julho de 1995 a dezembro de 2005, na resolução espacial de 10 km x 10 km. Os dados desse mapa se referem aos valores médios das estimativas do total diário de irradiação global horizontal e irradiação incidente sobre um plano com inclinação igual à latitude do pixel em consideração, sendo essa última a que possibilita a máxima captação da energia solar incidente (PEREIRA *et al.*, 2006).

Neste sentido, serão considerados para essa análise os dados de irradiação global horizontal, assim como os de irradiação solar incidente em um plano de inclinação igual à latitude local, definidos pelos diferentes cenários estudados. Estes dados de irradiação foram disponibilizados por meio de planilhas do *Excel*, em que viabiliza a localização a partir do conhecimento de coordenadas geográficas de latitude e longitude local, pesquisada no programa *Google Earth Pro*.

3.3.2.3 Mapa fotovoltaico do estado do Paraná

Tiepolo (2015) elaborou o Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná, em que se aplicou os mesmos critérios utilizados pela Comissão Europeia, o qual é composto por um conjunto de mapas com valores de irradiação e de produtividade estimada total anual, média diária sazonal e média diária mensal.

Além da determinação do potencial fotovoltaico do estado (Figura 28), os valores de irradiação e de produtividade estimados foram comparados com outros estados e regiões do Brasil, com a Europa, devido a sua maior capacidade instalada mundial até 2015, e com dados reais obtidos de SFVCR implantados no Paraná (TIEPOLO, 2015).

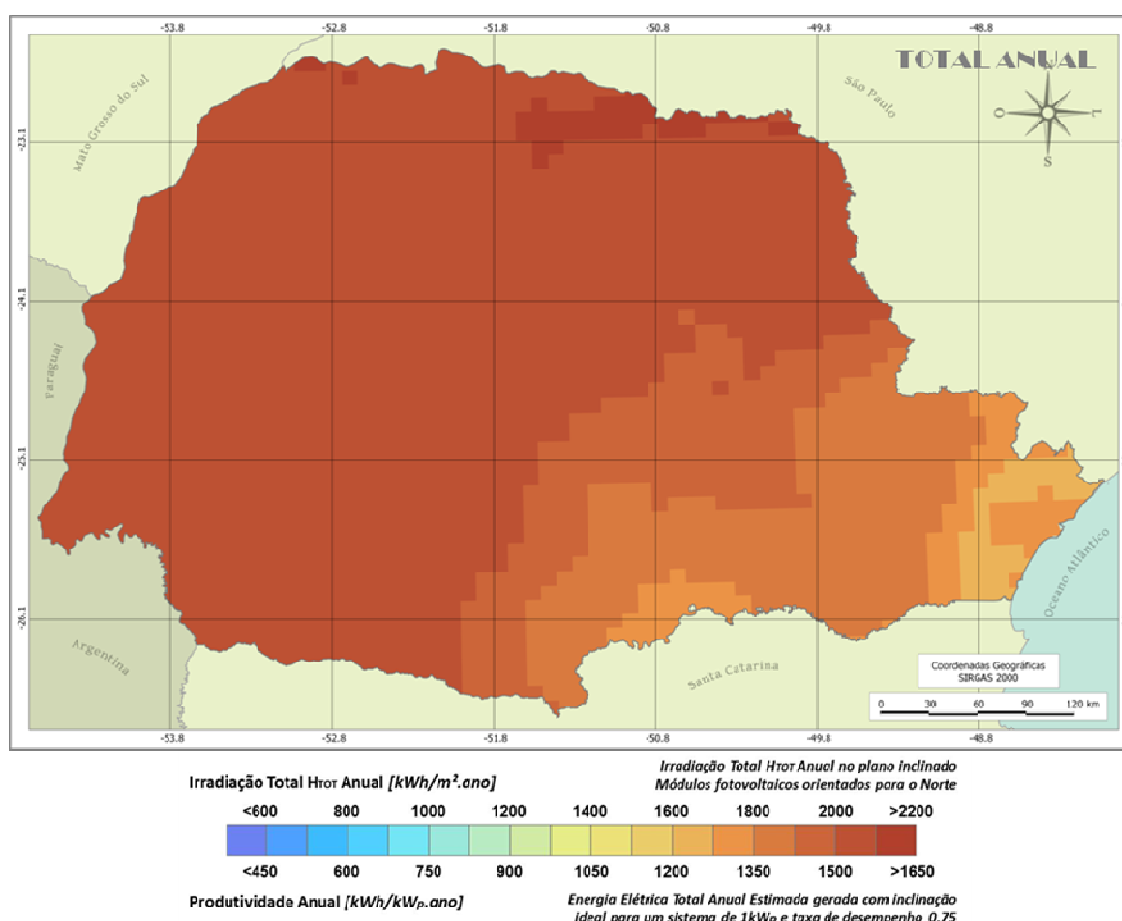


Figura 28 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná
Fonte: Tiepolo (2015).

Na Figura 28 são destacados os valores anuais de irradiação total na cidade de Curitiba que estão entre 1.800 kWh/m².ano e 1.900 kWh/m².ano e os valores de

produtividade de 1.350 kWh/kWp.ano à 1.425 kWh/kWp.ano. Como resultado da referida pesquisa, os dados obtidos mostraram que 80,7% dos municípios apresentaram valor de irradiação e de produtividade total anual média superior a média do estado, e que 80,45% de todos os municípios do estado obtiveram valor de irradiação total anual média superior a 2.000 kWh/m².ano, o que equivale a uma produtividade total anual média superior a 1.500 kWh/kWp.ano (TIEPOLO, 2015).

Conforme Tiepolo (2015), outra importante consideração concluída com esse trabalho foi a comparação com países europeus em que apresenta média similar a Portugal e Espanha, e média superior aos demais 29 países pesquisados, sendo aproximadamente 59% superior à média apresentada na Alemanha, onde se apresentou a maior capacidade instalada mundial até 2014, sendo superada em 2015 pela China, conforme relatório da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016).

3.3.2.4 Dados do piranômetro instalado na sede Centro da UTFPR

Em 2015, a UTFPR adquiriu um piranômetro termoelétrico modelo CMP 03, do fabricante Kipp&Zonen e um datalogger CR1000 da fabricante Campbell Scientific, conforme Figura 29, que foram instalados na cobertura do bloco B da sede Centro do câmpus Curitiba (ALMEIDA, 2015). O piranômetro termoelétrico é destinado a realizar medições da irradiância global, normalmente no plano horizontal, ou seja, campo hemisférico e, é composto por um sensor de termopilha com resposta espectral de até 2.500 nm (PINHO, GALDINO, 2014).

Este piranômetro é capaz de medir uma irradiância de até 1.500 W/m², instalado juntamente com o datalogger da UTFPR e configurado para colher dados solarimétricos em intervalos de minuto a minuto. O equipamento iniciou a coletar os dados no dia 15 de setembro de 2015 e já em seu primeiro dia de operação, alcançou valores de irradiância superiores a 1.000 W/m² por volta do meio dia, e o valor de irradiação, por sua vez, foi de 4,97 kWh/m².dia. Devido à capacidade de armazenamento de dados do datalogger, estes dados são limitados há 120 dias, sendo necessária a coleta periodicamente.



Figura 29 – Piranômetro Termoelétrico CMP 3 e Datalogger CR1000
 Fonte: Kipp&Zonen (2015) Campbell Scientific (2016).

Com relação ao datalogger, o modelo escolhido foi o CR-1000 da Campbell Scientific. Conforme o manual do fabricante, o equipamento apresenta uma precisão de aproximadamente $2 \mu\text{V}$ nas medições e memória interna para 120 dias de aquisição de dados e comunicação via protocolo RS-232. Durante o período noturno, o piranômetro pode ser sensibilizado gerando valores de irradiação negativos, contudo o datalogger é capaz de reconhecer estes valores como erros e anulá-los (ALMEIDA, 2015).

Ao longo desse período, a média do desvio entre os dados obtidos pelo piranômetro instalado na UTFPR e pelo INMET, durante os oito meses de operação do sistema, é de 1%, contudo é importante ressaltar que seu ponto de instalação se difere da estação solarimétrica do INMET. Logo, assume-se que os dados obtidos pelo piranômetro são compatíveis e então, podem ser usados para realizar previsões da geração de energia elétrica proveniente de fontes fotovoltaicas em Curitiba. Neste sentido, os dados coletados por este instrumento serão também utilizados nesta pesquisa, a fim de se conhecer com maior precisão o recurso solar local.

3.3.3 Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado

A estimativa da irradiação solar mensal e anual, para o plano inclinado conforme os cenários propostos, será feita a partir da aplicação de *softwares*

específicos que neste caso optou-se pelo uso do Radasol (Figura 30), desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este *software* é capaz de simular o comportamento real do gerador FV, no que se refere à disponibilidade de irradiação solar ao longo do ano mediante parâmetros de entrada como coordenadas geográficas, irradiação local, inclinação e orientação dos módulos quando a inclinação do painel é diferente do ângulo da latitude local (UFRGS, 2016).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Radiação em kWh/m ²	5,98	4,82	4,01	3,71	2,79	2,94	2,78	4,28	4,08	3,71	4,15	5,04

Figura 30 – Tela Inicial do *Software* Radasol com Exemplo Valores de Irradiação
Fonte: Acervo da Autora.

Na Figura 30 é apresentada a tela inicial de interface do *software* Radasol, onde são inseridos os parâmetros iniciais como a localização da estação, latitude e longitude local e dados de irradiação disponíveis para cada mês. O Radasol apresenta um banco de dados para diversas cidades e capitais brasileiras, entretanto, é possível cadastrar locais que não estão inseridos neste banco de dados de forma simples para aquisições mais pontuais de valores de geração FV estimada.

Dessa forma, após preencher os parâmetros mencionados, a segunda janela que se abrirá, possibilitará a variação do ângulo de inclinação e o desvio azimutal em relação ao Norte (Figura 31). O resultado da radiação solar será dado em Wh/(m².dia) e estes podem ser apresentados em forma de gráficos de barras, linhas ou em forma de tabela. Existe ainda a opção de ampliar o gráfico ou tabela em janelas independentes, auxiliando a impressão desses gráficos com resultados.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul disponibiliza duas versões do *software* Radasol, o Radasol1 e o Radasol2, uma vez que o último é a versão atualizada em que curvas ou tabelas podem ser exportadas através da área de

transferência do *Windows* para outros aplicativos, onde poderão ser utilizadas para cálculos em projetos ou para apresentação de relatórios (UFRGS, 2016).

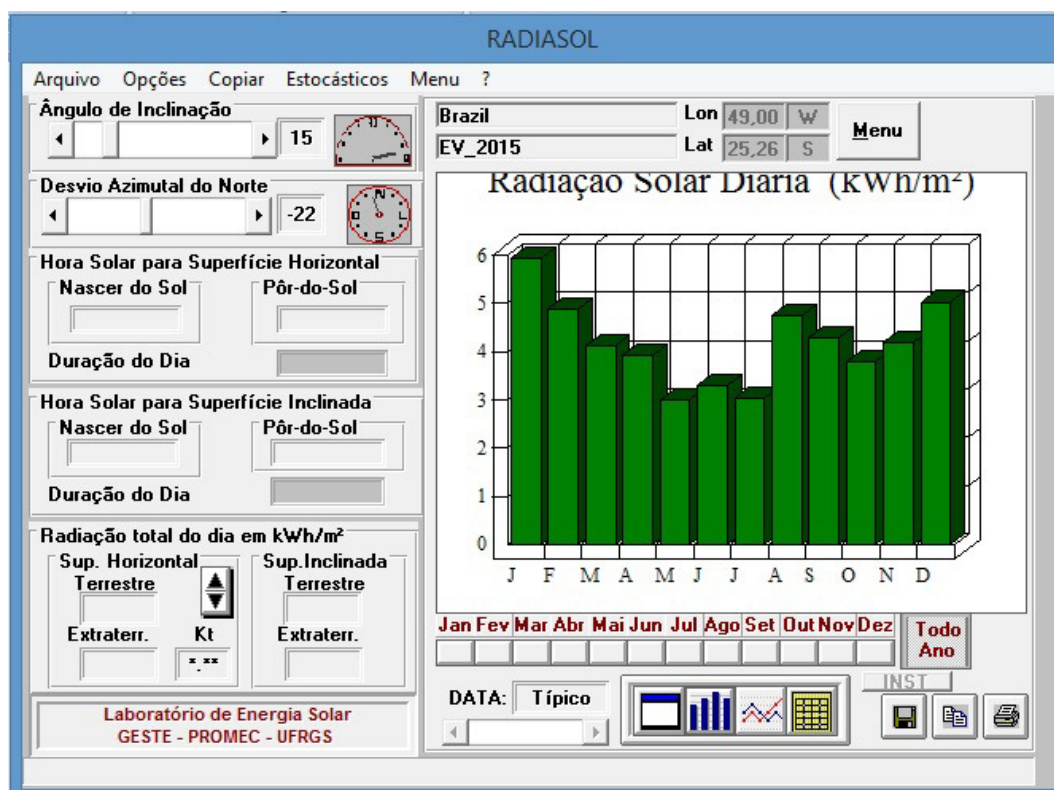


Figura 31 – Gráfico do Radasol para Irradiação Média
Fonte: Acervo da Autora.

Na Figura 31 é apresentado o gráfico de irradiação média da estação do EV da UTFPR, em que o ângulo de inclinação foi alterado para 15° com desvio azimutal do norte de 22° para o oeste, por isso o sinal negativo antes do número. Conforme os resultados gerados no gráfico, notam-se os meses de menor e maior irradiação média sendo julho e janeiro para o ano de 2015, respectivamente.

3.4 DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA DO CÂMPUS CURITIBA

A COPEL disponibiliza para clientes do grupo A, que é o caso do câmpus da UTFPR Curitiba, a utilização de uma plataforma denominada CAS Hemera (Figura 32), onde é possível coletar dados referentes ao consumo e demanda de energia,

denominado de memórias de massa do medidor elétrico, assim como dados de faturamento mensal e fator de potência da universidade (TELEMEDIÇÃO, 2016).

O acesso a essa plataforma foi disponibilizado pelo Departamento de Serviços Gerais (DESEG) da universidade, o qual é responsável pelas contas de energia da instituição. Inicialmente, somente a Sede Centro possuía seu medidor elétrico cadastrado na plataforma CAS Hemera, contudo o departamento solicitou a concessionária à inclusão das outras sedes, possibilitando o estudo e análise do perfil de cargas da UTFPR.



Figura 32 – Interface da Plataforma CAS Hemera
Fonte: Telemedicação (2016).

Neste sentido, a plataforma da COPEL possibilitará a coleta de dados numéricos de parâmetros de demanda, consumo e fator de potência, bem como a interpolação de gráficos permitindo a visualização direta do perfil dos medidores elétricos da UTFPR, que será analisada para o período de 2016). As informações disponibilizadas por este recurso podem ser ainda exportadas para planilhas do *Excel*, facilitando a elaboração de gráficos auxiliares de contribuição fotovoltaica para cada cenário analisado para dias típicos selecionados.

3.4.1 Dias Típicos Selecionados

Os dias típicos de irradiação mínima e máxima foram selecionados com a finalidade de destacar os dias com menor e maior geração de energia fotovoltaica, assim como o dia típico caracterizado pela faixa de irradiação com maior predominância de irradiação diária, através da aplicação de histogramas divididos com intervalos de 0,5 kWh/m².dia, para cada faixa concomitante com a demanda por energia elétrica na instituição seguindo seu calendário letivo. Dessa forma, de acordo com a metodologia sugerida por Campos (2015), foram selecionadas datas que apresentassem faixas de irradiação aproximadas com as estações de verão e inverno do ano de 2016 coincidindo com os dias letivos da UTFPR, câmpus Curitiba.

Neste sentido, o mês de março de 2016 foi selecionado para análise de irradiação de verão, devido a este representar o mês mais próximo ao verão no primeiro semestre letivo da instituição e com o maior número de dias letivos. Na Figura 33 é mostrado o gráfico para análise de irradiação diária do mês de Março/2016, onde contempla irradiações diárias de 01/03/2016 ao dia 31/03/2016 coletadas através do portal do INMET. Dessa forma, o gráfico possibilitou elencar os dias de irradiação mínima e máxima para o mês selecionado.

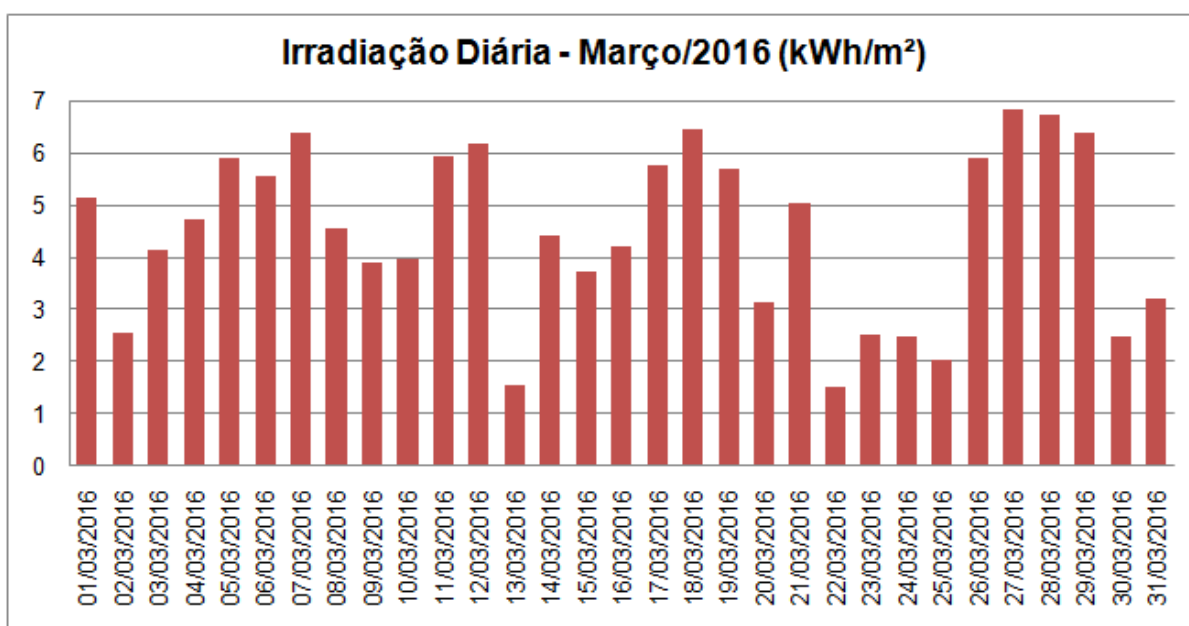


Figura 33 – Gráfico da Irradiação Diária de Curitiba para o Mês de Março/2016
 Fonte: Adaptado de INMET (2016).

Conforme gráfico apresentado pela Figura 33, identificou-se que o dia de mínima irradiação ocorreu dentro do calendário letivo no dia 22/03/2016, apresentando uma irradiação diária de 1,52 kWh/m².dia, sendo este uma terça-feira. Já o dia identificado de irradiação máxima (27/03/2016), com irradiação diária de 6,82 kWh/m².dia, ocorreu em um domingo, por este motivo optou-se pela próxima data de valor de irradiação diária aproximado sendo selecionado o dia 28/03/2016 como de irradiação máxima, apresentando uma irradiação diária de 6,73 kWh/m².dia, sendo este uma segunda-feira.

O dia típico do mês de Março foi definido a partir da aplicação de um histograma, o qual demonstra faixas de irradiações diárias divididas entre valores de 0,0 a 7,0 kWh/m².dia com intervalos de 0,5 para cada faixa. Assim, o histograma permitiu a identificação da faixa de valor de irradiação que apresentou maior predominância, ou seja, frequência de dias que os valores ocorreram conforme mostrado na Figura 34.

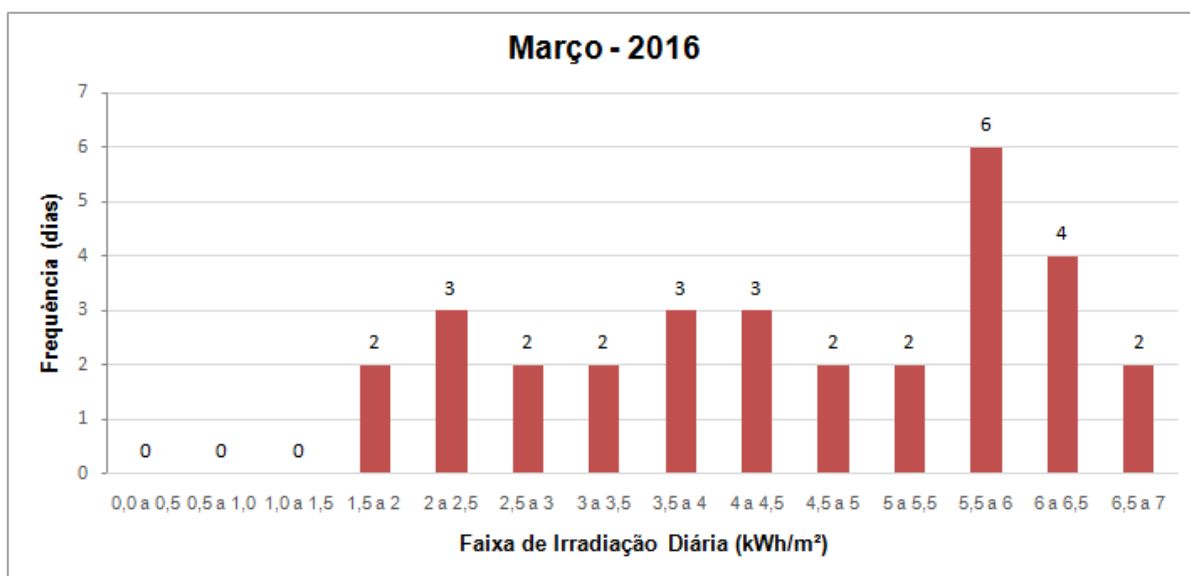


Figura 34 – Histograma para o Mês de Março/2016
Fonte: A autora.

A partir da análise do histograma para o mês de março/2016 identificou-se a faixa de maior predominância sendo os valores de 5,5 a 6 kWh/m².dia, com 6 dias dentro dessa faixa. A irradiação média calculada desses 6 dias foi de 5,79 kWh/m².dia, assim o dia com o valor mais aproximado foi 17/03/2016 com 5,75 kWh/m².dia, que aconteceu em uma quinta-feira.

A mesma análise foi realizada para o período de baixa irradiação, sendo o mês de Junho de 2016 escolhido para análise de irradiação de inverno, pelo motivo de ser o mês mais próximo do inverno e apresentar o maior número de dias letivos para análise de inverno da instituição. Na Figura 35 é mostrado o gráfico para análise de irradiação diária do mês de Junho/2016, contemplando a irradiações diárias de 01/06/2016 ao dia 30/06/2016 coletadas através do portal do INMET. Dessa forma, o gráfico possibilitou elencar os dias de irradiação mínima e máxima para o mês selecionado.

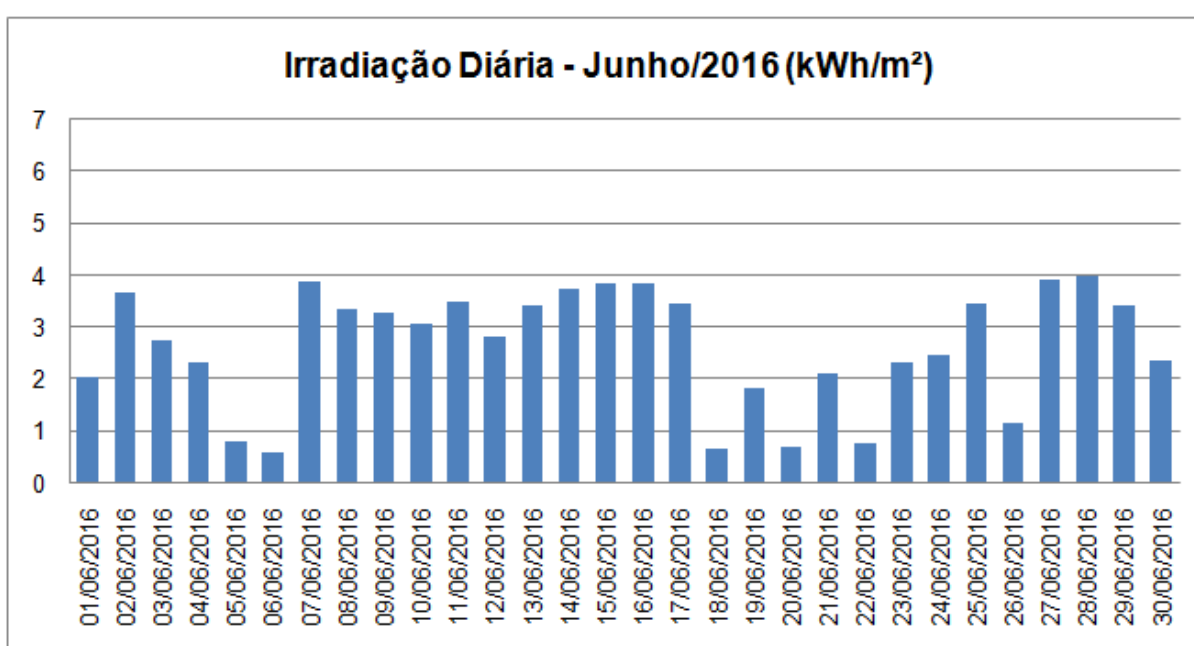


Figura 35 – Gráfico da Irradiação Diária de Curitiba para o Mês de Junho/2016
Fonte: Adaptado de INMET (2016).

Conforme gráfico apresentado pela Figura 35, identificou-se que o dia de mínima irradiação ocorreu dentro do calendário letivo no dia 20/06/2016, apresentando uma irradiação diária de 0,70 kWh/m².dia sendo este uma segunda-feira. Já o dia com irradiação máxima (28/06/2016, terça-feira), com irradiação diária de 3,98 kWh/m².dia, apresentou indisponibilidade de dados de demanda e consumo de energia, variáveis estas coletados na plataforma CAS Hemera. Assim, próxima data de valor de irradiação diária aproximada ocorreu no dia 27/06/2016 (segunda-feira), com 3,91 kWh/m².dia, entretanto para este dia também ocorreu a mesma situação relatada acima apresentando indisponibilidade de dados na plataforma CAS

Hemera. Logo, a próxima data que apresentou valor de irradiação diária aproximada ocorreu no dia 07/06/2016, com 3,90 kWh/m².dia, sendo uma terça-feira.

O dia típico do mês de junho foi definido a partir da aplicação de um histograma, o qual demonstra faixas de irradiações diárias divididas entre valores de 0,0 a 4,0 kWh/m².dia com intervalos de 0,5 para cada faixa. Assim, o histograma permitiu a identificação da faixa de valor de irradiação que apresentou maior predominância, ou seja, frequência de dias que os valores ocorreram conforme mostrado na Figura 36.

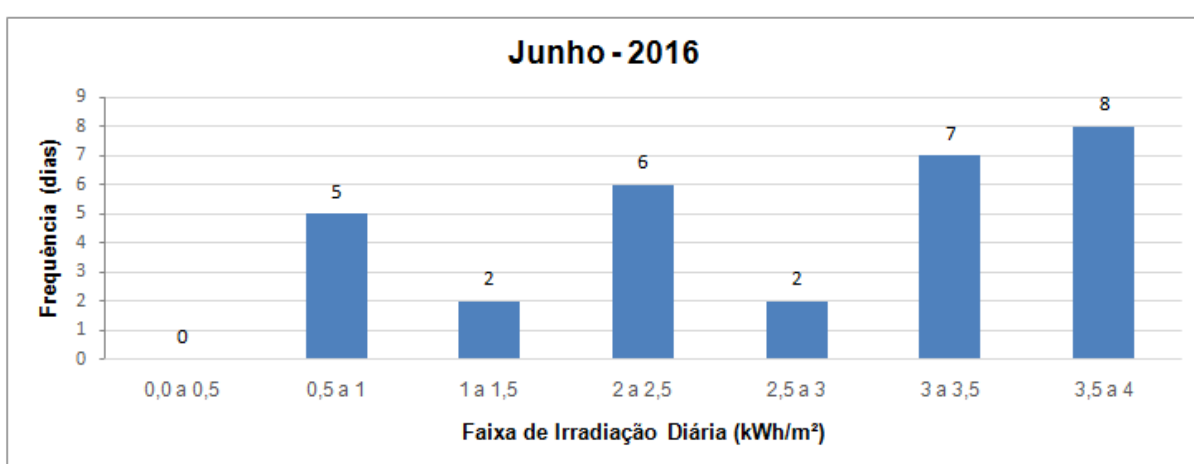


Figura 36 – Histograma para o Mês de Junho/2016
Fonte: A autora.

A partir da análise do histograma para o mês de junho/2016 identificou-se a faixa de maior predominância sendo os valores de 3,5 a 4 kWh/m².dia, com 8 dias dentro dessa faixa. A irradiação média calculada desses 8 dias foi de 3,80 kWh/m².dia, assim o dia com o valor mais aproximado foi 15/06/2016 com 3,83 kWh/m².dia, que incidiu em uma quarta-feira.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo com os dias típicos escolhidos para análise proposta e suas respectivas irradiações diárias.

Essa análise possibilitou identificar que a faixa de irradiação para o mês de alta irradiação (Março), apresenta faixas de irradiações diárias variando entre valores de 1,5 a 7,0 kWh/m².dia. Enquanto que o mês com baixa irradiação (Junho), as faixas de irradiações diárias foram identificadas entre 0,5 a 4,0 kWh/m².dia.

Tabela 2 – Dias Típicos Selecionados

Data	Irradiação	Irradiação Diária (kWh/m ² .dia)
22/03/2016	Mínima	1,52
17/03/2016	Típica	5,75
28/03/2016	Máxima	6,73
20/06/2016	Mínima	0,70
15/06/2016	Típica	3,83
07/06/2016	Máxima	3,90

Fonte: Adaptado de INMET (2016).

Conforme analisado anteriormente, quando os dias de máxima e/ou mínima irradiação solar foram encontrados como sendo em finais de semana, dia de feriado nacional, ou dias com outros eventos atípicos, optou-se por desconsiderar estes dias, para fins de levantamento de consumo e demanda, por não retratar o perfil da demanda de potência na maior parte do tempo, e fazer uma nova escolha do dia a ser analisado, mantendo-se o critério de máxima e mínima irradiação solar diária conforme dados do INMET. Entretanto, para análise da contribuição energética a partir da implantação dos SFVCR, serão considerados os dias letivos e não letivos, visto que a produção de energia provenientes destes sistemas ocorre na presença de irradiação solar.

3.4.2 Dados de Energia da Sede Centro

Para análise do perfil de carga da sede Centro, será utilizada a plataforma CAS Hemera, com intuito de identificar o período de maior consumo e demanda energética no local (TELEMEDIÇÃO, 2016). A partir dessa análise, é possível verificar se haverá redução de picos de demanda bem como contribuição energética com a implementação de SFVCR na instituição. A seguir, serão apresentados dados de consumo e demanda para os dias de irradiação mínima, típica e máxima selecionados para o ano 2016 das sedes Centro, Ecoville e Neville.

3.4.2.1 Consumo de energia da sede Centro

Por meio da plataforma CAS Hemera, disponibilizada pela COPEL, foram coletados dados referentes ao consumo de energia, apontando a quantidade de energia elétrica consumida durante os dias selecionados, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo Diário Total – Sede Centro

Data	Irradiação	Consumo Diário Total (kWh)
22/03/2016	Mínima	39.063
17/03/2016	Típica	41.328
28/03/2016	Máxima	38.625
20/06/2016	Mínima	36.809
15/06/2016	Típica	36.676
07/06/2016	Máxima	36.002

Fonte: Adaptado de Telemedição (2016).

Os dados de consumo diário são mostrados na Tabela 3, e foram extraídos da plataforma apontando valores de consumo diário para o medidor selecionado, tanto para dias de mínima, típica e máxima irradiação. Dessa forma, foi possível levantar o consumo total diário para os dias selecionados. Conforme os dados apresentados pela Tabela 3, o consumo diário total da sede Centro apresentou uma variação de valores na faixa de 36.002 a 41.328 kWh de acordo com os dias selecionados.

3.4.2.2 Demanda de energia da sede Centro

A plataforma CAS Hemera, ainda disponibiliza a quantificação e coleta de informações referentes à demanda de energia, ou seja, o perfil das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora durante um intervalo de tempo especificado, conforme Figura 37, que apresenta demanda da sede Centro de um dia de irradiação mínima do mês de Março.

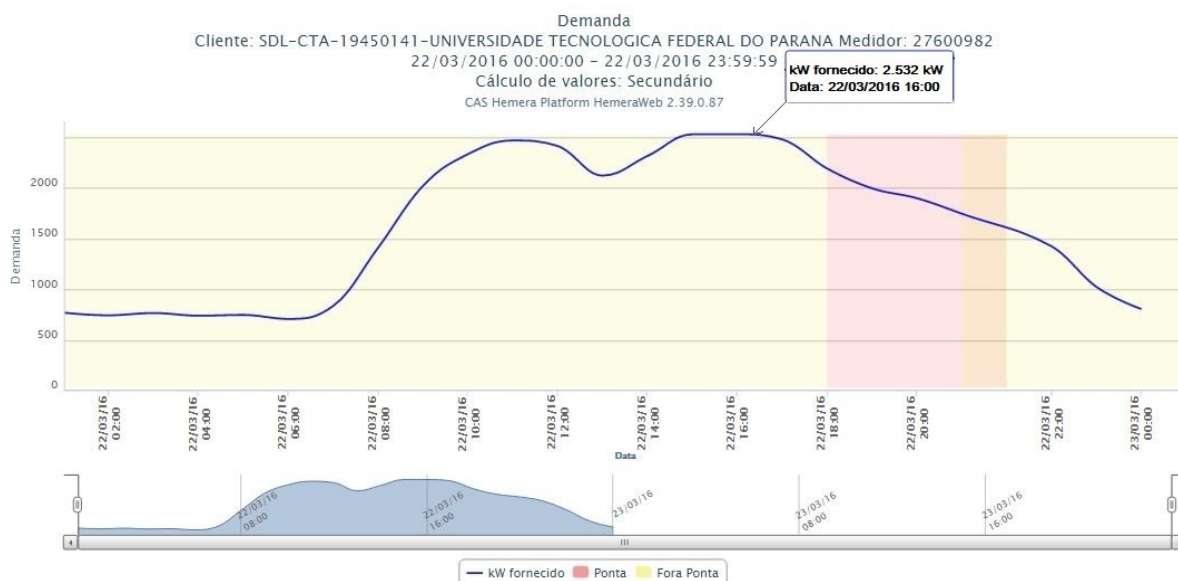


Figura 37 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Mínima de Março
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 37), a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Centro da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 16:00 horas, registrado valor de 2.532 kW no dia 22/03/2016. Além dessas informações, o gráfico destaca a demanda dentro e fora dos horários de ponta.

A demanda de energia para o dia de irradiação típica de Março é apresentada na Figura 38.

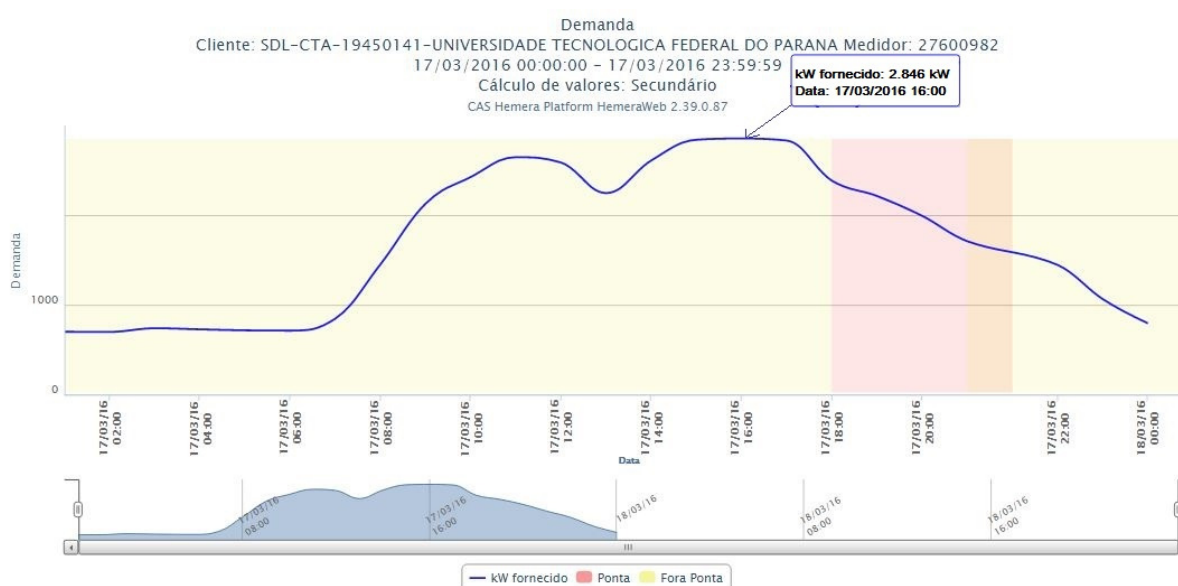


Figura 38 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Típica de Março
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 38), a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Centro da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 16:00 horas, registrado valor de 2.846 kW no dia 17/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação máxima de Março é apresentada na Figura 39.

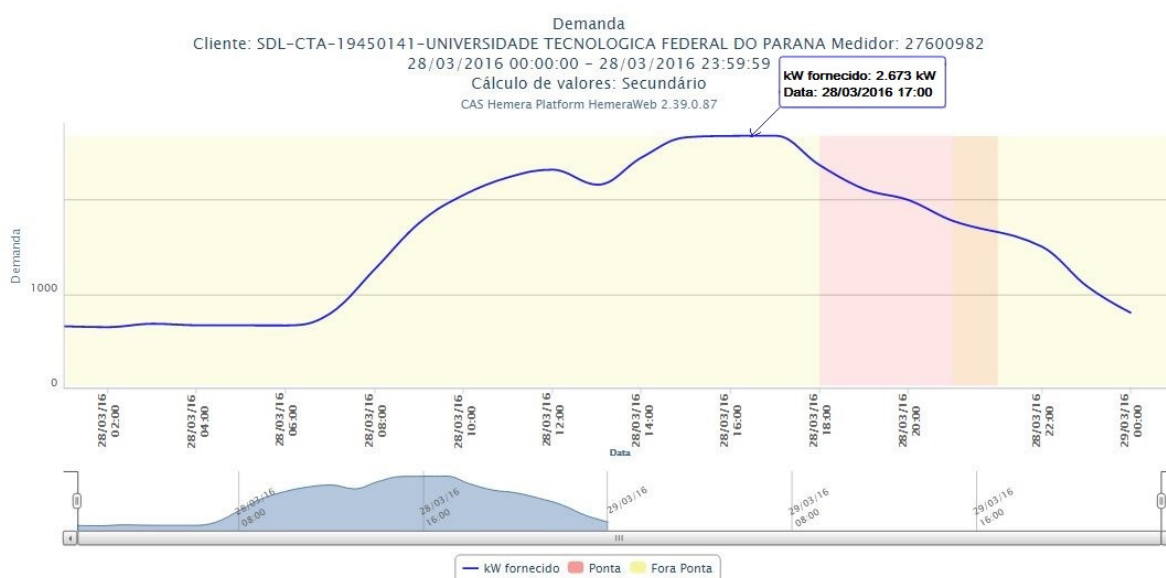


Figura 39 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Máxima de Março
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 39), a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Centro da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 17:00 horas, registrado valor de 2.673 kW no dia 28/03/2016.

Igualmente, se faz necessário a análise dos dias típicos de Junho, com menor irradiação solar da sede Centro apontando a quantidade de potência elétrica demandada durante o período (Figura 40, Figura 41 e Figura 42).

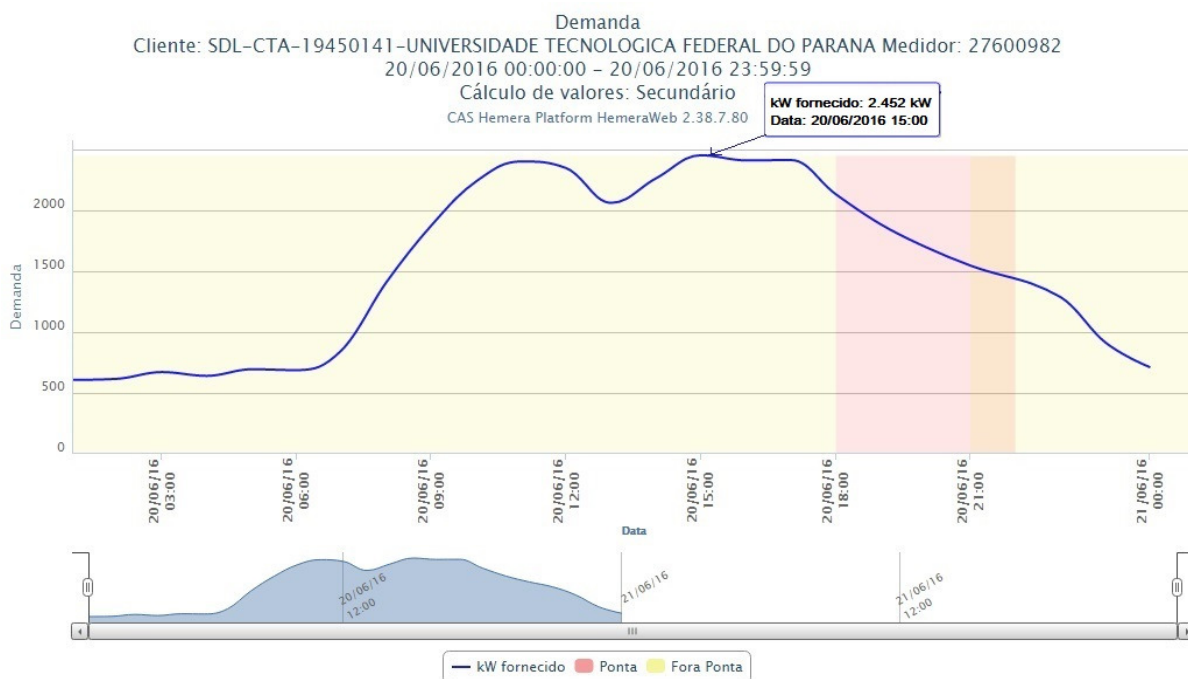


Figura 40 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Mínima de Junho
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 40, para um dia de irradiação mínima de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 15:00 horas registrando uma potência de 2.452 kW no dia 20/06/2015.

A análise para o dia de irradiação típica de Junho é mostrado na Figura 41.

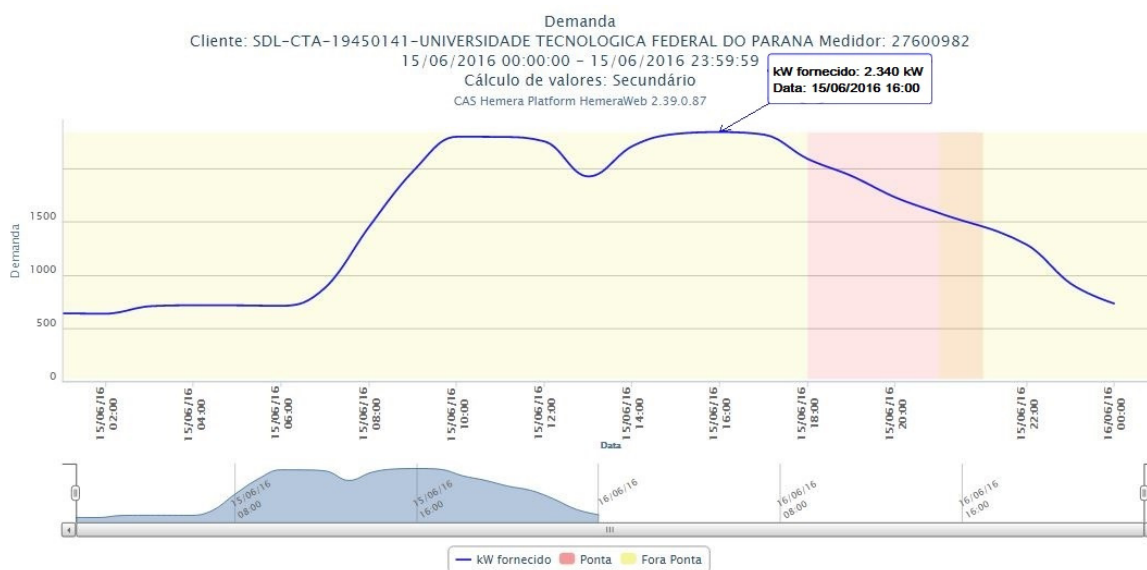


Figura 41 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um Dia de Irradiação Típica de Junho
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 41, para um dia de irradiação típica de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 16:00 horas registrando uma potência de 2.340 kW no dia 20/06/2015.

A análise para o dia de irradiação máxima de Junho é mostrado na Figura 42.

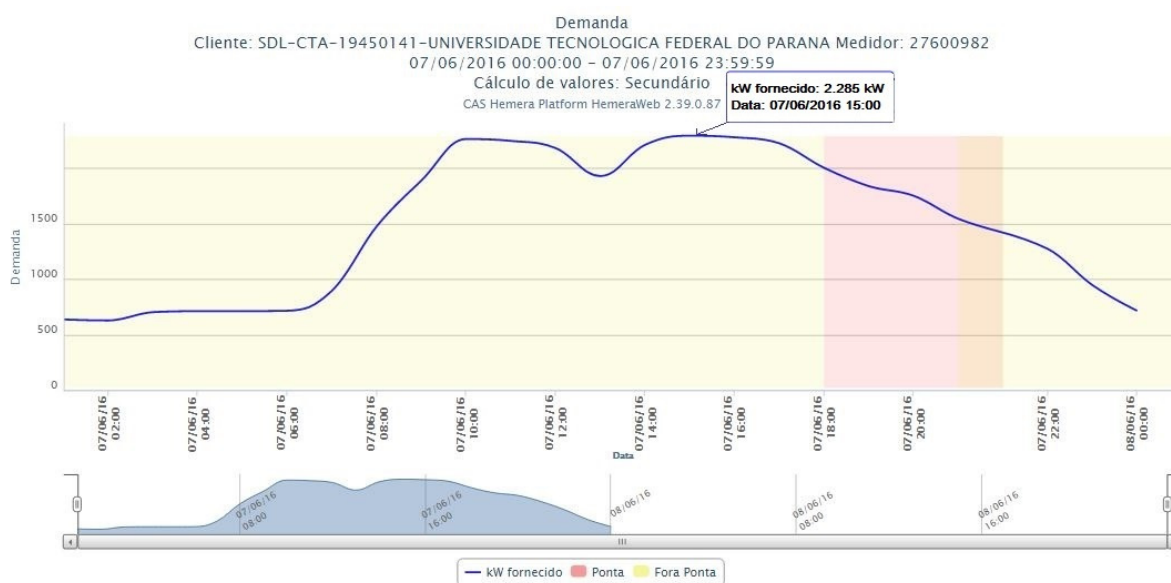


Figura 42 – Gráfico de Demanda da Sede Centro de um de Irradiação Máxima de Junho
Fonte: Telemedicação (2016).

Já para o dia de irradiação máxima de Junho, o pico de demanda ocorreu às 15:00 horas e potência de 2.285 kW no dia 07/06/2015.

3.4.3 Dados de Energia da Sede Ecoville

Da mesma forma, a partir da aplicação da plataforma CAS Hemera, serão coletados dados referentes ao consumo e demanda da sede Ecoville, permitindo dessa maneira, a análise do período de maior consumo e demanda energética no local, assim como a aplicação de estratégias mais adequadas para inserção de SFVCR a fim de se obter maior eficiência energética nesta sede.

3.4.3.1 Consumo de energia da sede Ecoville

Mediante a aplicação da plataforma da COPEL, CAS Hemera, serão coletados dados referentes ao consumo energético da sede Ecoville possibilitando a caracterização dessa informação a fim de identificar o período de maior consumo. Como a sede Ecoville está dividida em 2 medidores, o consumo é apresentado em 2 tabelas conforme a Tabela 4, que mostra o consumo dos blocos da Civil, Arquitetura e Química e Tabela 5, que mostra os blocos da Mecânica.

Tabela 4 – Consumo Diário Total – Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)

Data	Irradiação	Consumo Diário Total (kWh)
22/03/2016	Mínima	13.064
17/03/2016	Típica	13.173
28/03/2016	Máxima	11.853
20/06/2016	Mínima	13.828
15/06/2016	Típica	13.974
07/06/2016	Máxima	13.723

Fonte: Adaptado de Telemedição (2016).

Conforme os dados apresentados pela Tabela 4, o consumo diário total dos blocos da Civil, Arquitetura e Química na sede Ecoville apresentou uma variação de valores na faixa de 11.853 a 13.974 kWh de acordo com os dias selecionados.

Na Tabela 5 é mostrado o consumo dos blocos da Mecânica para os dias selecionados.

Tabela 5 – Consumo Diário Total – Sede Ecoville (Mecânica)

Data	Irradiação	Consumo Diário Total (kWh)
22/03/2016	Mínima	2.677
17/03/2016	Típica	2.214
28/03/2016	Máxima	2.132
20/06/2016	Mínima	2.976
15/06/2016	Típica	3.024
07/06/2016	Máxima	2.560

Fonte: Adaptado de Telemedição (2016).

Conforme os dados apresentados pela Tabela 5, o consumo diário total dos blocos da Mecânica na sede Ecoville apresentou uma variação de valores na faixa de 2.132 a 3.024 kWh de acordo com os dias selecionados.

3.4.3.2 Demanda de energia da sede Ecoville

As informações referentes à demanda de energia na sede Ecoville serão coletadas pela plataforma CAS Hemera, a fim de se obter o período em que a edificação apresenta maior demanda por energia elétrica, dessa forma viabilizando essa análise. Na Figura 43, é mostrado o gráfico de demanda para um dia de irradiação mínima de Março para o medidor de energia elétrica dos blocos da Civil, Arquitetura e Química da sede Ecoville.

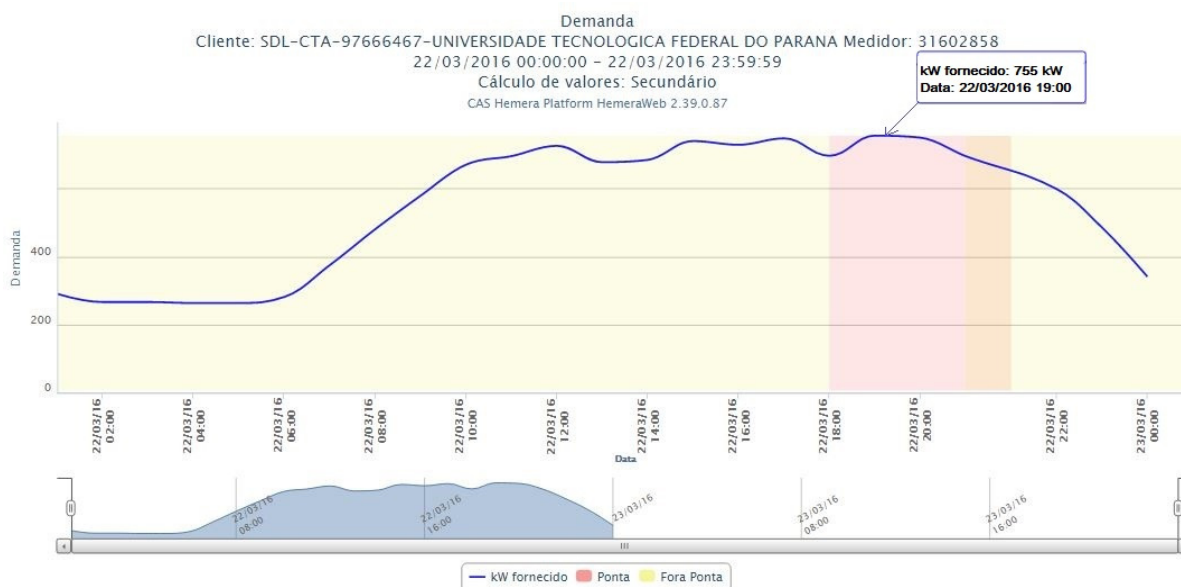


Figura 43 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Mínima de Março
 Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 43), a demanda fornecida pela COPEL, medida nos blocos da Civil, Arquitetura e Química na sede Ecoville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 19:00 horas, registrado valor de 755 kW no dia 22/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação típica de Março é apresentada na Figura 44.

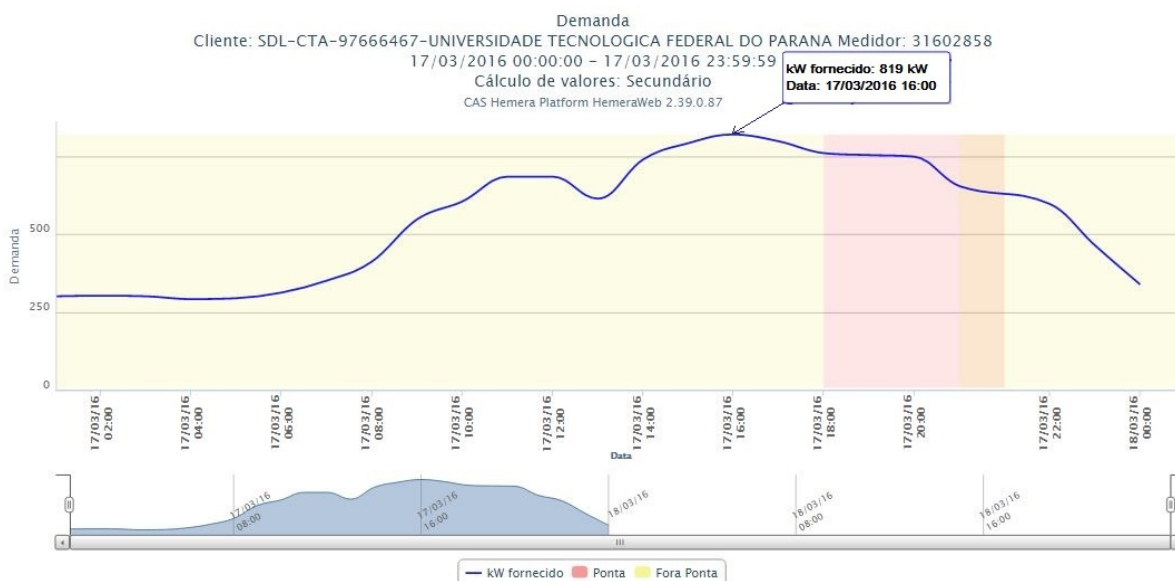


Figura 44 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Típica de Março

Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 44), a demanda fornecida pela COPEL, medida nos blocos da Civil, Arquitetura e Química na UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 16:00 horas, registrado valor de 819 kW no dia 17/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação máxima de Março é apresentada na Figura 45.

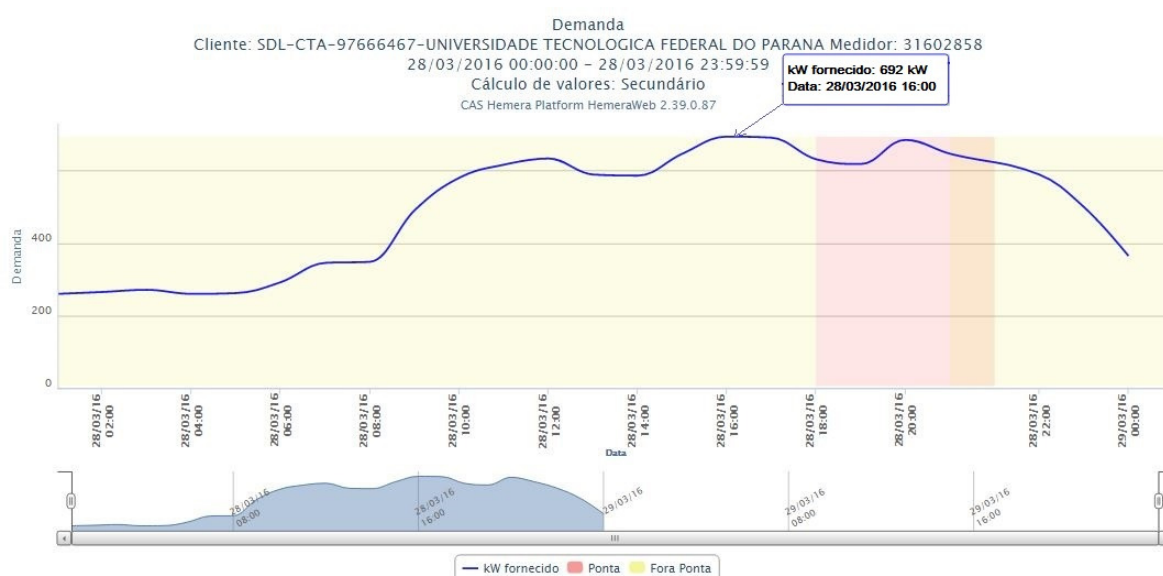


Figura 45 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Máxima de Março

Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 45), a demanda fornecida pela COPEL, medida nos blocos da Civil, Arquitetura e Química na UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 16:00 horas, registrado valor de 692 kW no dia 28/03/2016.

Da mesma forma, se faz necessário a análise dos dias de Junho, com menor irradiação solar da sede Ecoville (Civil-Arquitetura-Química) apontando a quantidade de potência elétrica demandada durante o período de Junho (Figura 46, Figura 47 e Figura 48).

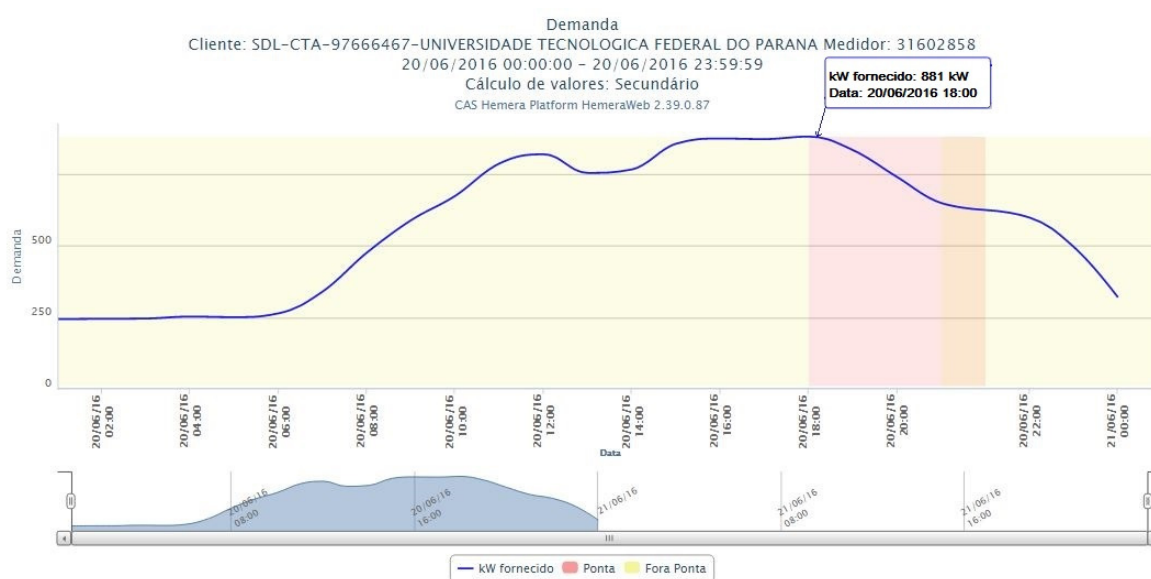


Figura 46 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Mínima de Junho
 Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 46, para um dia de irradiação mínima de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 18:00 horas registrando uma potência de 881 kW no dia 20/06/2015. A análise para o dia de irradiação típica de Junho é mostrado na Figura 47.

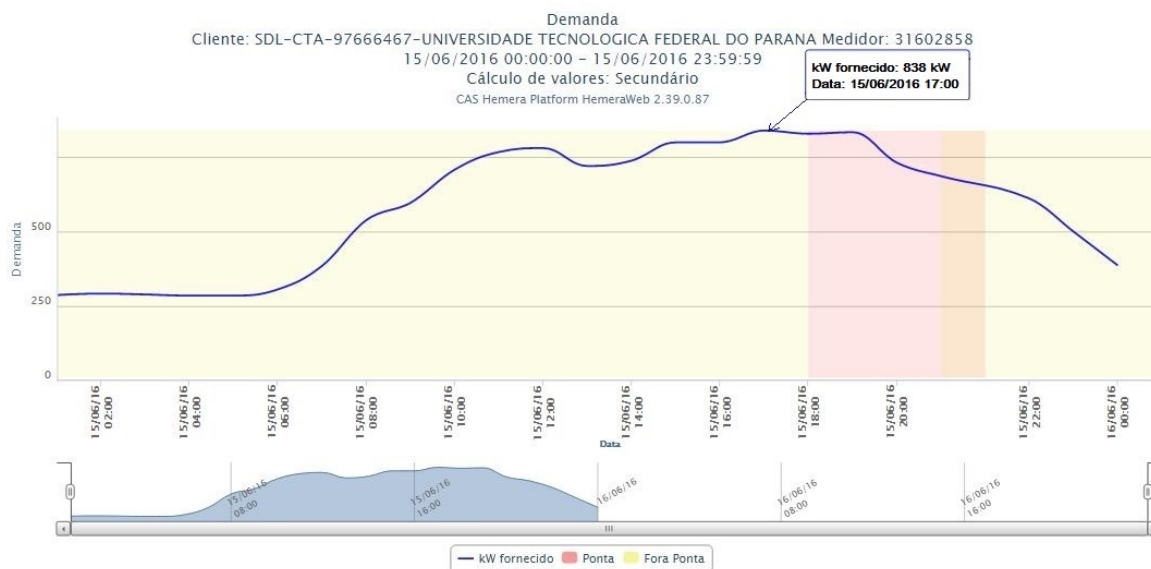


Figura 47 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Típica de Junho

Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 47, para um dia de irradiação típica de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 17:00 horas registrando uma potência de 838 kW no dia 15/06/2015.

A análise para o dia de irradiação máxima de Junho é mostrado na Figura 48.

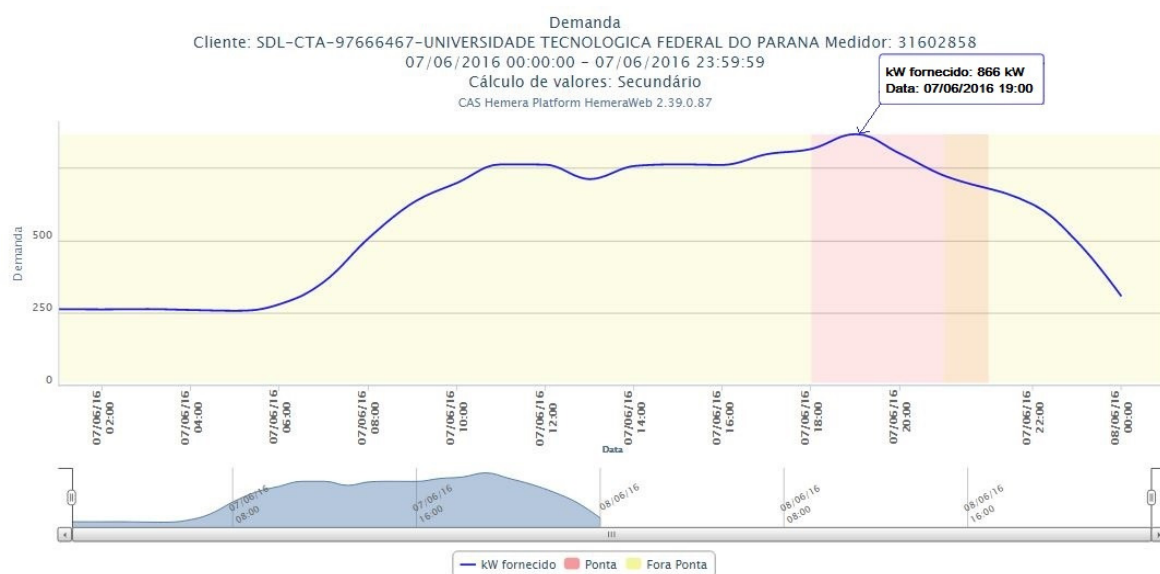


Figura 48 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Civil-Arq-Qui) de um Dia de Irradiação Máxima de Junho

Fonte: Telemedicação (2016).

Já para o dia de irradiação máxima de Junho (Figura 48), o pico de demanda ocorreu às 19:00 horas e potência de 866 kW no dia 07/06/2015.

As informações referentes à demanda de energia do medidor de energia elétrica dos blocos da Engenharia Mecânica na sede Ecoville serão coletadas pela plataforma CAS Hemera, objetivando a análise dos períodos em que a sede apresenta maior demanda por energia elétrica. Na Figura 49, é mostrado o gráfico de demanda para um dia de irradiação mínima de Março para o medidor de energia elétrica dos blocos da Mecânica da sede Ecoville.

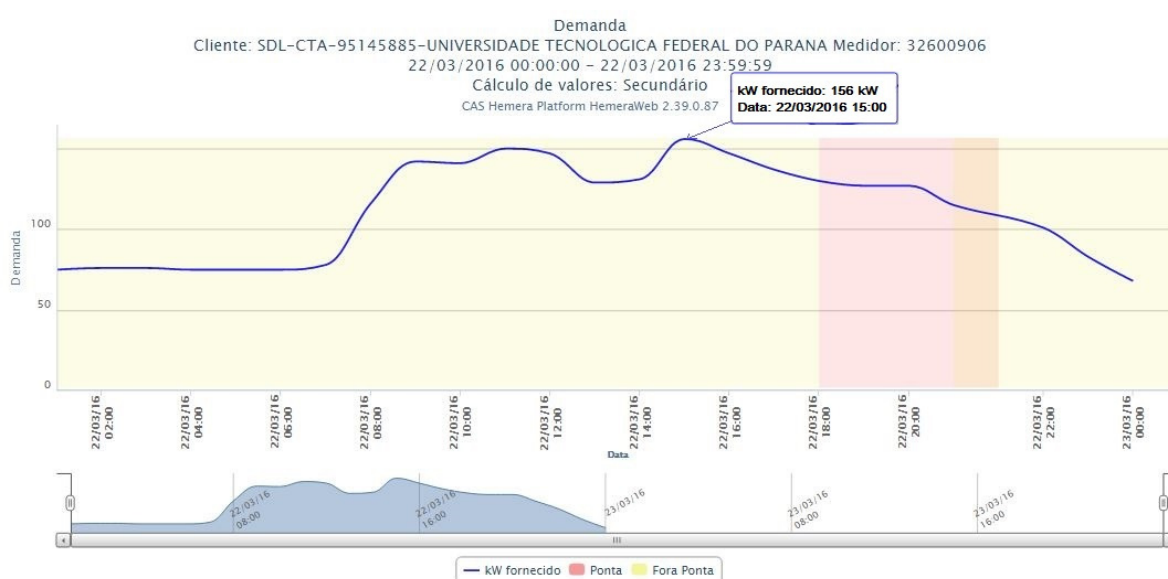


Figura 49 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Mínima de Março
Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 49), a demanda fornecida pela COPEL, medida no bloco da Mecânica na sede Ecoville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 15:00 horas, registrado valor de 156 kW no dia 22/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação típica de Março é apresentada na Figura 50.

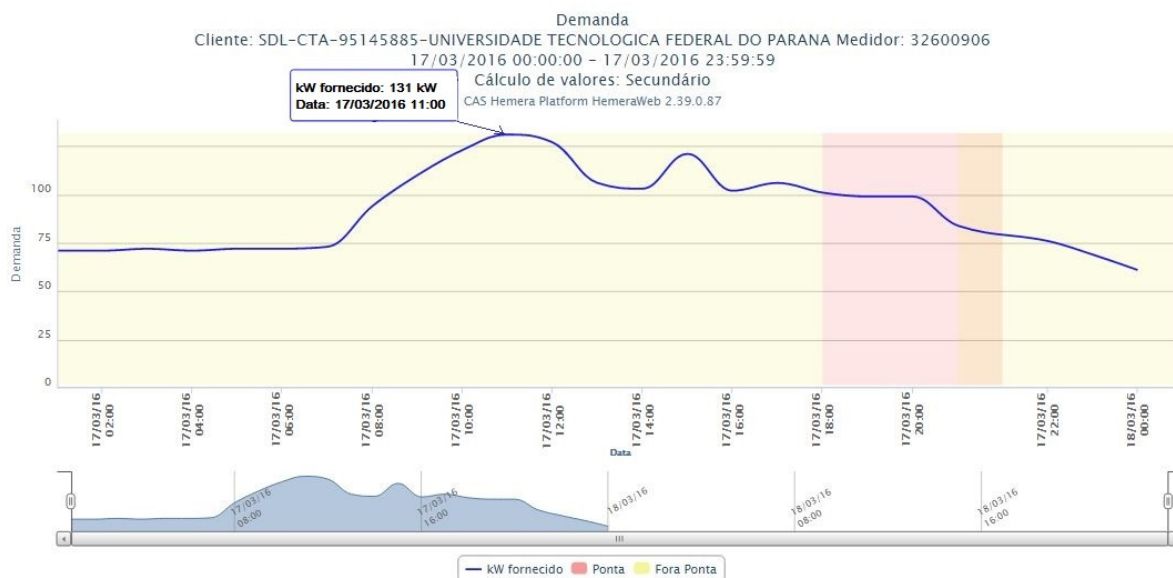


Figura 50 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Típica de Março

Fonte: Telemedção (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 50), a demanda fornecida pela COPEL, medida no bloco da Mecânica da sede Ecoville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 11:00 horas, registrado valor de 131 kW no dia 17/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação máxima de Março é apresentada na Figura 51.

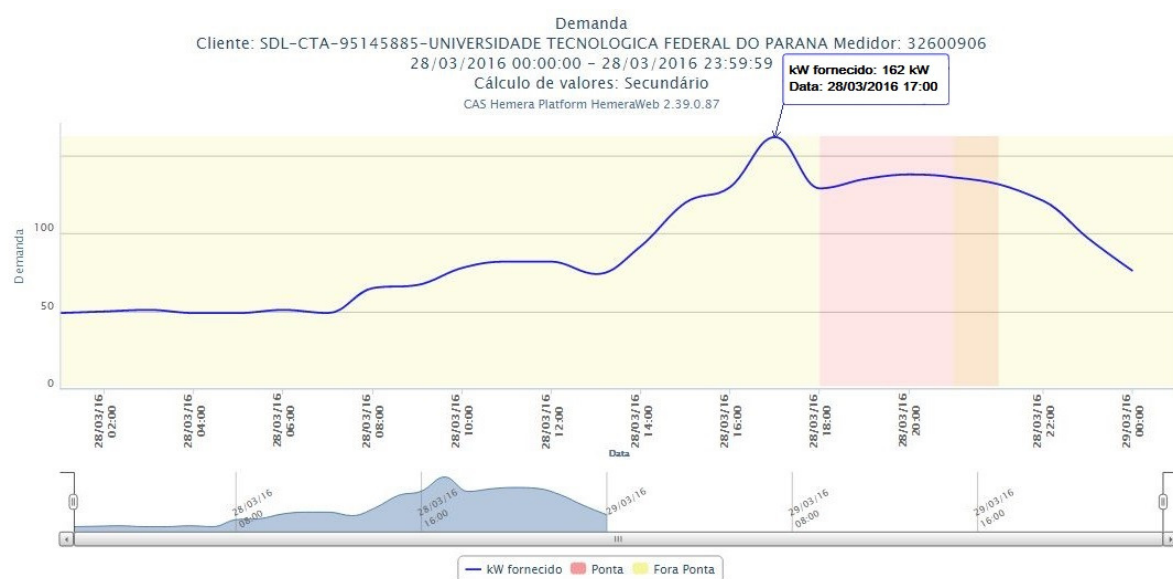


Figura 51 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Máxima de Março

Fonte: Telemedção (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 51), a demanda fornecida pela COPEL, medida no bloco da Mecânica na sede Ecoville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 17:00 horas, registrado valor de 162 kW no dia 28/03/2016.

Da mesma forma, se faz necessário a análise dos dias de Junho, com menor irradiação solar da sede Ecoville (Mecânica) apontando a quantidade de potência elétrica demandada durante o período de inverno (Figura 52, Figura 53 e Figura 54).

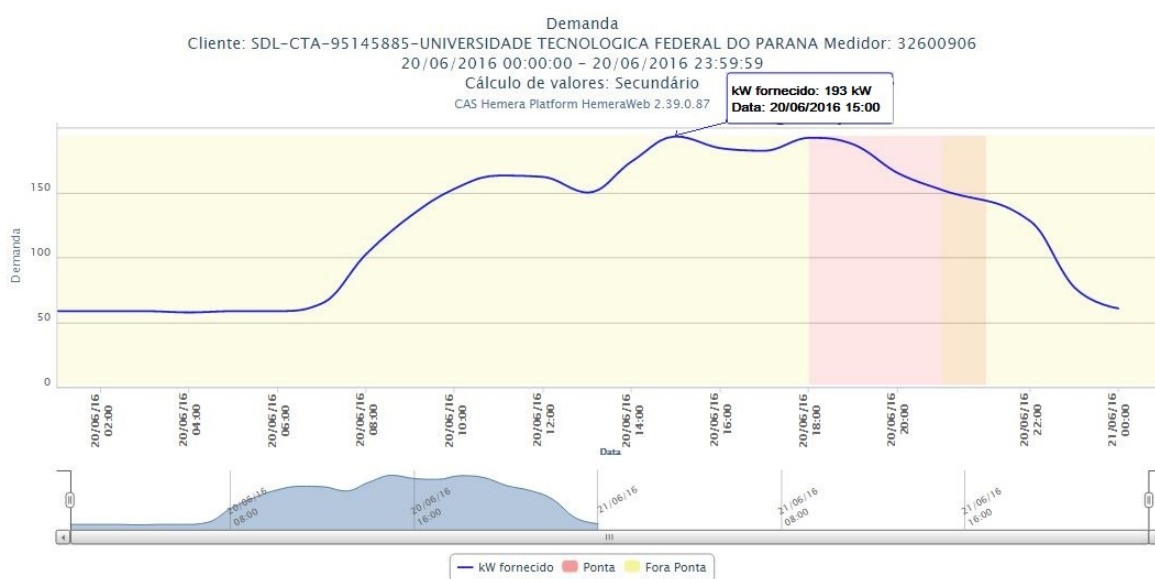


Figura 52 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Mínima de Junho
 Fonte: Telemedição (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 52, para um dia de irradiação mínima de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 15:00 horas registrando uma potência de 193 kW no dia 20/06/2015. A análise para o dia de irradiação típica de Junho é mostrado na Figura 53.

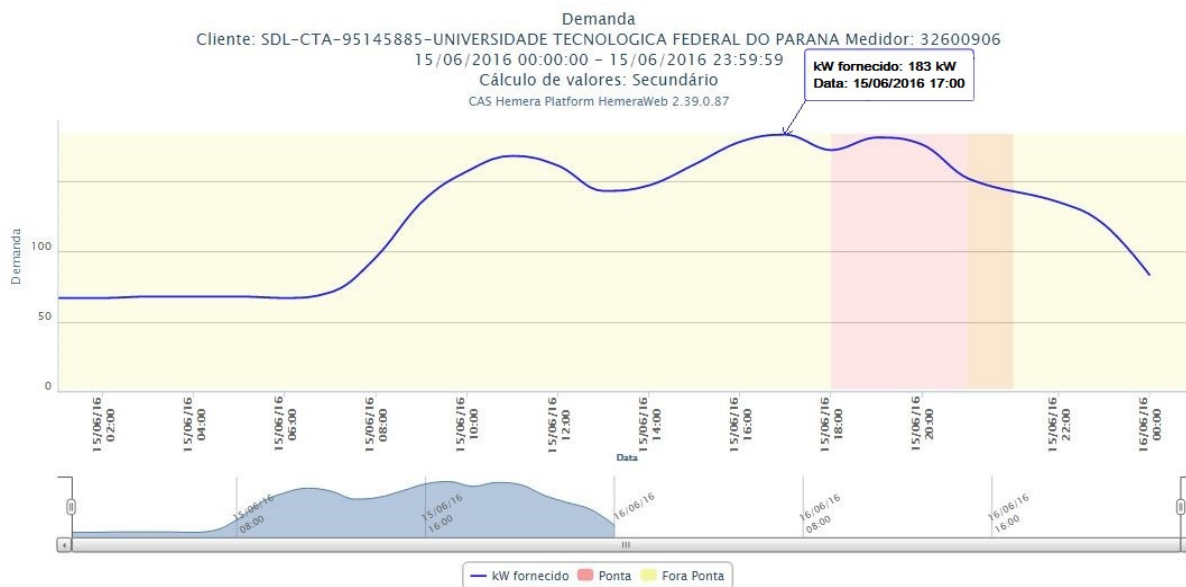


Figura 53 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Típica de Junho
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 53, para um dia de irradiação típica de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 17:00 horas registrando uma potência de 183 kW no dia 15/06/2015.

A análise para o dia de irradiação máxima de Junho é mostrado na Figura 54.

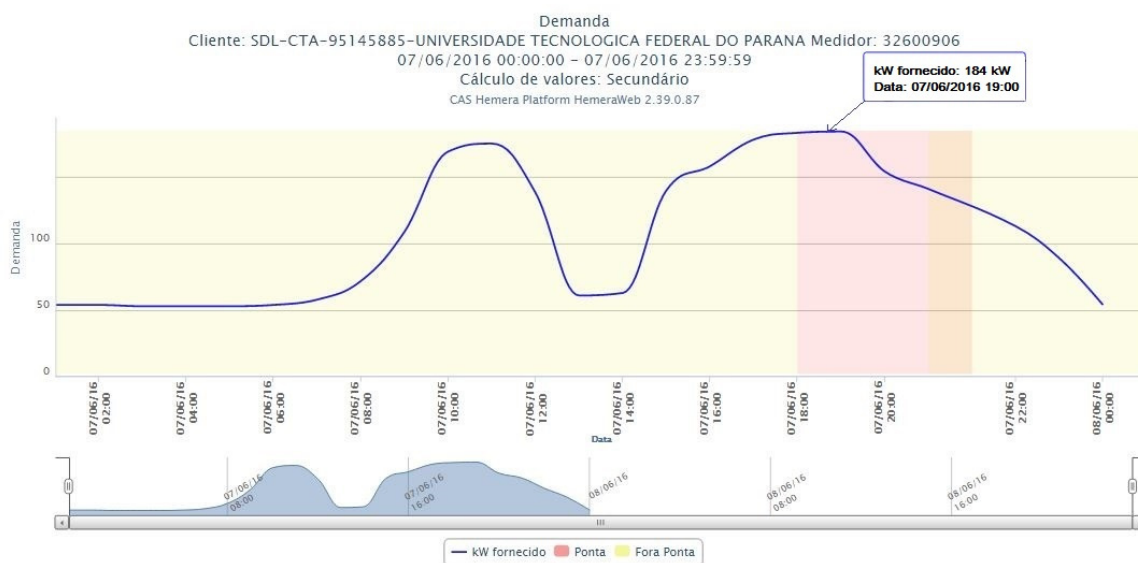


Figura 54 – Gráfico de Demanda da Sede Ecoville (Mecânica) de um Dia de Irradiação Máxima de Junho
 Fonte: Telemedicação (2016).

Já para o dia de irradiação máxima de Junho, o pico de demanda ocorreu às 19:00 horas e potência de 184 kW no dia 07/06/2015.

3.4.4 Dados de Energia da Sede Neville

A sede Neville teve seus dados de energia coletados por meio da plataforma CAS Hemera, onde é possível identificar o perfil de consumo e demanda da sede, para posterior análise da viabilidade de redução de picos de demanda e redução energética na respectiva sede.

3.4.4.1 Consumo de energia da sede Neville

Os parâmetros de consumo de energia serão analisados através da plataforma da COPEL, objetivando o estudo do perfil de cargas da sede Neville.

Tabela 6 – Consumo Diário Total – Sede Neville

Data	Irradiação	Consumo Diário Total (kWh)
22/03/2016	Mínima	1.997
17/03/2016	Típica	2.012
28/03/2016	Máxima	1.768
20/06/2016	Mínima	2.084
15/06/2016	Típica	2.001
07/06/2016	Máxima	1.959

Fonte: Adaptado de Telemedicação (2016).

Conforme os dados apresentados pela Tabela 6, o consumo diário total dos da sede Neville apresentou uma variação de valores na faixa de 1.768 a 2.012 kWh de acordo com os dias selecionados.

3.4.4.2 Demanda de energia da sede Neville

A demanda de energia da sede Neville será analisada através da plataforma CAS Hemera, onde é possível identificar o período de maior demanda por energia pela sede. Na Figura 55, é mostrado o gráfico de demanda para um dia de irradiação mínima de Março para o medidor de energia elétrica da sede Neville.

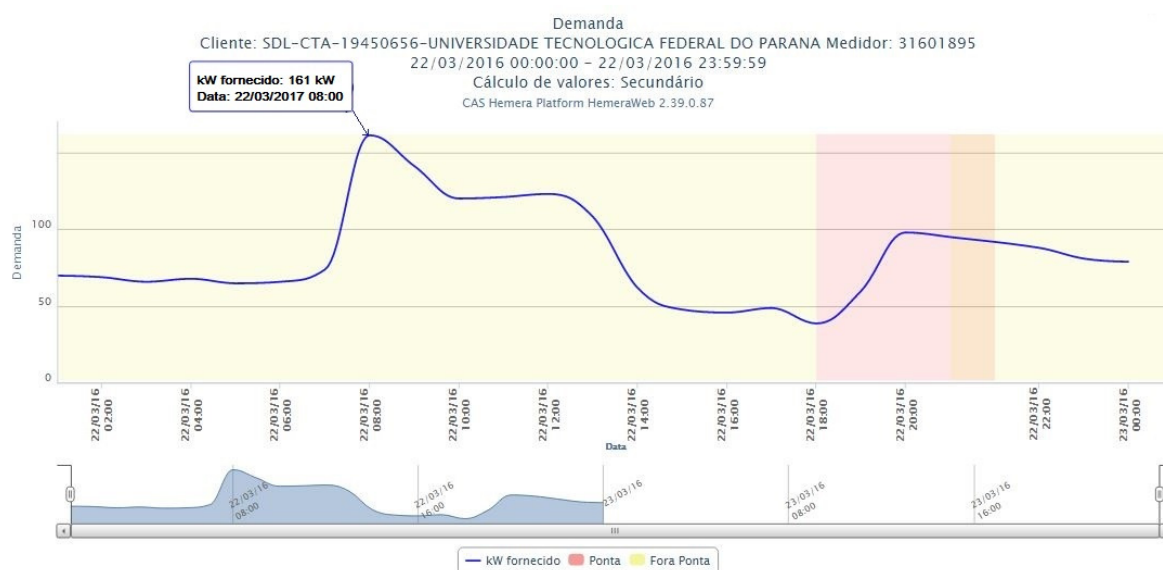


Figura 55 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Mínima de Março
Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 55), a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Neville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 08:00 horas, registrado valor de 161 kW no dia 22/03/2016.

A demanda de energia para o dia de irradiação típica de Março é apresentada na Figura 56.

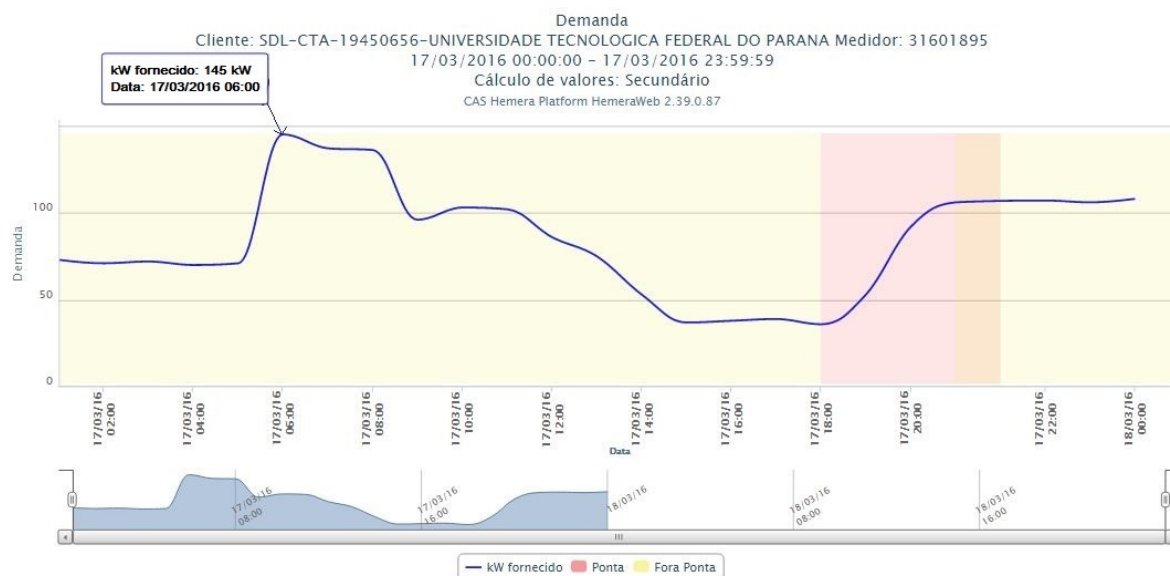


Figura 56 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Típica de Março
 Fonte: Telemedicação (2016).

Conforme os gráficos gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 56), a demanda fornecida pela COPEL, medida na da sede Neville da UTFPR apresentou valor de pico de demanda por energia elétrica às 06:00 horas, registrado valor de 145 kW no dia 17/03/2016. A demanda de energia para o dia de irradiação máxima de Março é apresentada na Figura 57.

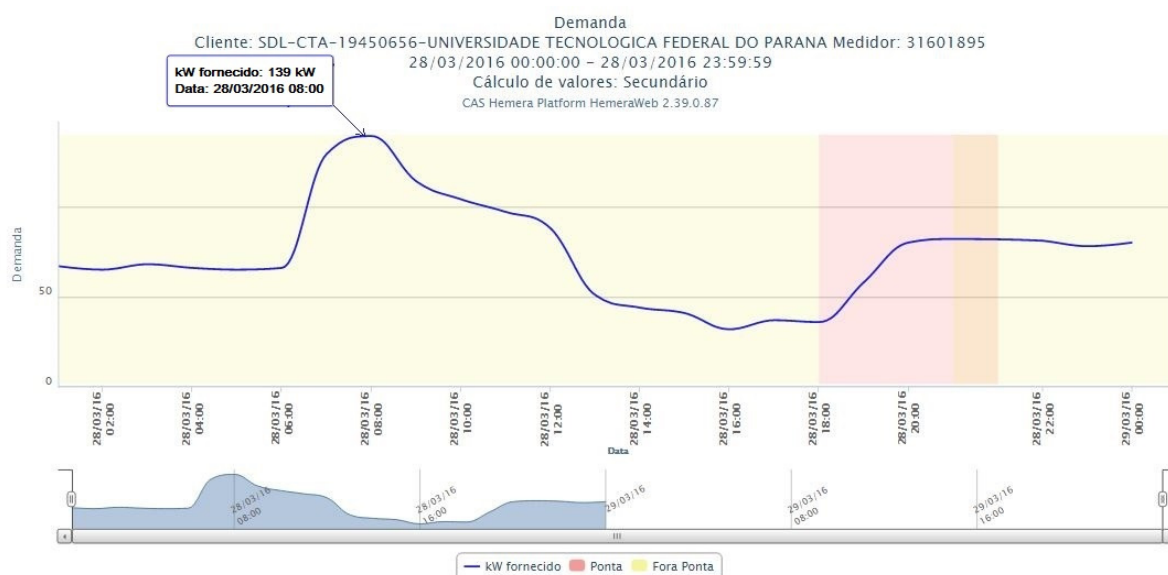


Figura 57 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Máxima de Março
 Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com o gráfico gerado pela plataforma CAS Hemera (Figura 57), a demanda fornecida pela COPEL, medida na sede Neville da UTFPR apresentou

valor de pico de demanda por energia elétrica às 08:00 horas, registrado valor de 139 kW no dia 28/03/2016.

A análise dos dias de Junho é mostrada a seguir destacando o período em que há menor irradiação solar da sede Neville, apontando a quantidade de potência elétrica demandada durante o período de Junho (Figura 58, Figura 59 e Figura 60).

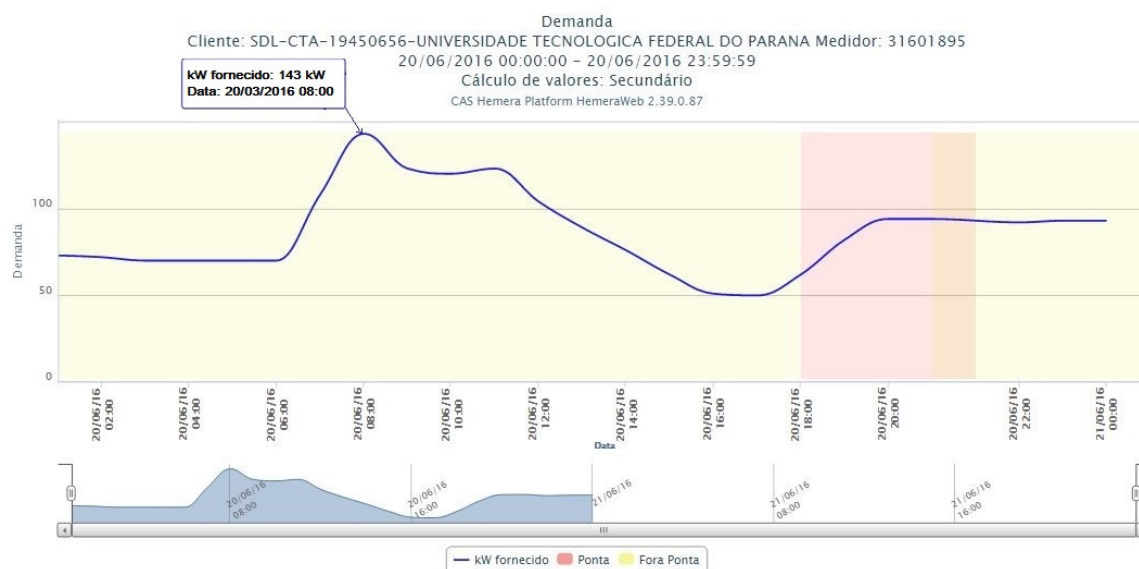


Figura 58 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Mínima de Junho
Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 58, para um dia de irradiação mínima de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 08:00 horas registrando uma potência de 143 kW no dia 20/06/2015.

A análise para o dia de irradiação típica de Junho é mostrado na Figura 59.

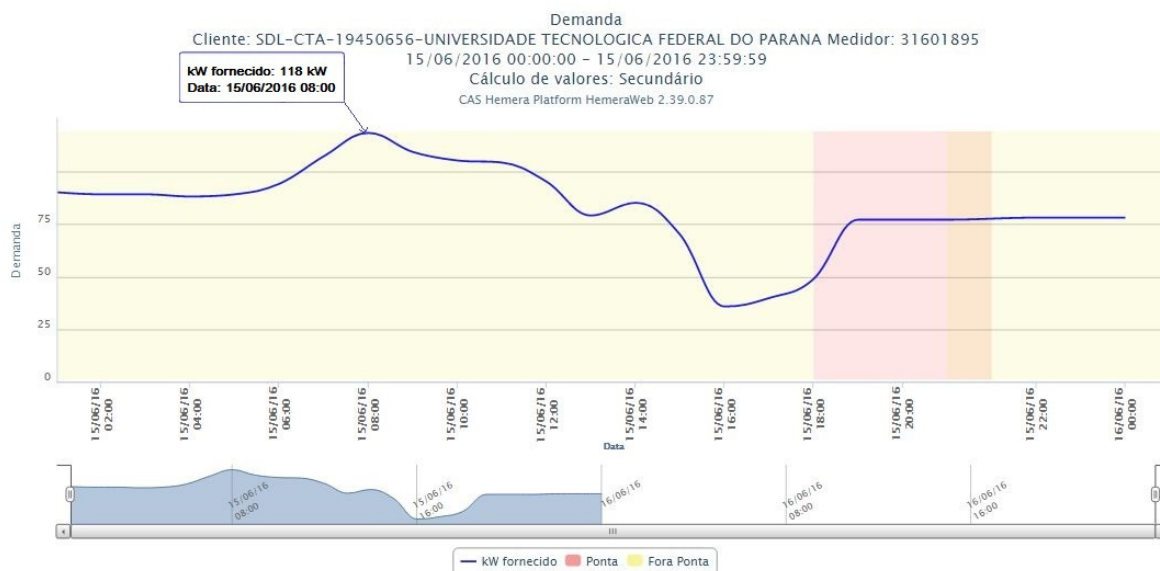


Figura 59 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Típica de Junho
Fonte: Telemedicação (2016).

De acordo com os resultados presentes na Figura 59, para um dia de irradiação típica de Junho, o horário de maior demanda ocorreu às 08:00 horas registrando uma potência de 118 kW no dia 15/06/2015.

A análise para o dia de irradiação máxima de Junho é mostrado na Figura 60.

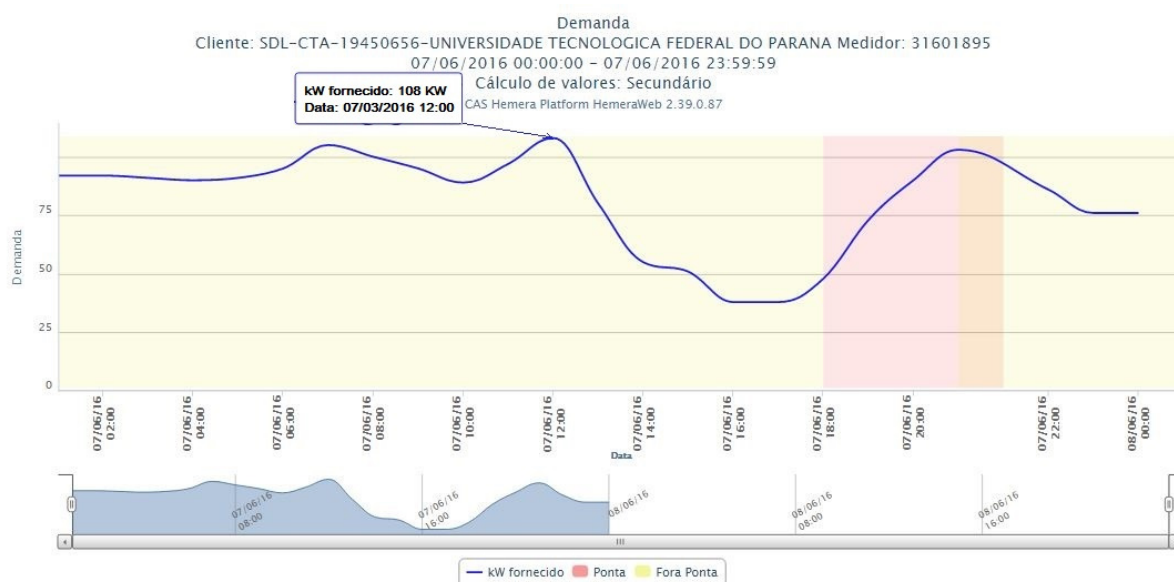


Figura 60 – Gráfico de Demanda da Sede Neville de um Dia de Irradiação Máxima de Junho
Fonte: Telemedicação (2016).

Já para o dia de irradiação máxima de Junho (Figura 60), o pico de demanda ocorreu às 12:00 horas e potência de 108 kW no dia 07/06/2015.

3.5 ANÁLISE DE COBERTURAS DO CÂMPUS CURITIBA

A análise das áreas de cobertura, ou seja, telhados e locais disponíveis para alocação dos módulos fotovoltaicos no câmpus Curitiba será realizada mediante a avaliação das plantas baixas disponibilizadas pelo Departamento de Projetos (DEPRO) da UTFPR câmpus Curitiba, sem que haja comprometimento estético da edificação.

Dessa forma, detalhes como materiais empregados na instalação dos telhados, estruturas e sua posição com relação ao norte geográfico, devem ser considerados objetivando alcançar maior aproveitamento dessa área disponível. Caso não haja documentos especificando os materiais empregados, como por exemplo, lista de materiais ou memorial descritivo da obra, será necessária a investigação no próprio local pesquisado.

A fim de obter ganhos na produtividade de SFVCR é necessário estudar áreas disponíveis, materiais empregados nas coberturas, bem como análise de sombreamento para evitar perdas ocasionadas por sombras provenientes de edificações verticais e vegetação existente, pois nem sempre é possível orientar e inclinar os módulos nas condições ideais de instalação, conforme descrito no item anterior.

A UTFPR, câmpus Curitiba, se encontra inserida no meio urbano, e por este motivo se faz necessária a análise simplificada de sombreamento, a fim de se evitar interferências por edificações verticais ou de vegetações na produtividade de SFVCR propostos à instituição, mediante aplicação de *softwares* de simulação, como por exemplo, o *Sketch Up*.

Neste sentido, a partir do *software Sketch Up*, serão feitas simulações ao longo do ano, considerando a variações solares nas diferentes estações do ano, dessa forma determinando a viabilidade da implantação dos módulos fotovoltaicos nas coberturas existentes no câmpus.

Conforme visto na revisão da literatura, a instalação dos módulos FV deve ser feita de tal forma que estes sejam orientados ao norte geográfico e inclinação igual à latitude local, assim como o SFVCR da sede Neville está instalado. Entretanto, uma análise mais detalhada do perfil do telhado ou cobertura deve ser

feita, pois nem sempre é possível orientar e inclinar os módulos nas condições ideais de instalação.

Portanto, será feito a análise para as sedes de acordo com os telhados e coberturas existentes, a fim de confirmar a viabilidade de instalação nas condições ideais, ou respeitar a inclinação e orientação natural dessa cobertura. Essa análise possibilita verificar as contribuições que os SFVCR propostos podem causar em relação ao consumo de energia bem como ao meio ambiente e serão descritos no subitem seguinte.

3.6 POTENCIAL DA GERAÇÃO FV NO CÂMPUS CURITIBA

A partir dos SFVCR existentes e dos resultados do desempenho destes no câmpus da UTFPR, serão propostos cenários, com a finalidade de prever o funcionamento destes sistemas. Com isso, serão elaborados cenários propondo a ampliação desses sistemas e simulações de SFVCR, que é o caso da sede Ecoville.

3.6.1 Contribuição Energética do SFVCR da Sede Centro

Em dezembro de 2011, foi inaugurado o Escritório Verde (EV) UTFPR, uma proposta única no Brasil de uma edificação sustentável modelo de 150 m² que adotou diversas estratégias de sustentabilidade em parceria com mais de sessenta empresas, visando verificar o desempenho destas estratégias, entre elas, a máxima eficiência energética, conforme descrito no capítulo anterior. Além de utilizar a iluminação natural e do uso de lâmpadas LED's, o projeto também optou pela técnica de geração fotovoltaica como linha mestra para prover energia à edificação, em conjunto com o sistema elétrico da concessionária. O SFVCR é baseado na interação destes dois agentes responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica: a concessionária e o gerador fotovoltaico. Na Figura 61 é ilustrada a fachada do EV da UTFPR (URBANETZ JUNIOR *et al.*, 2014) (MARIANO *et al.*, 2016b).



Figura 61 – Fachada Frontal do EV da UTFPR - Sede Centro
Fonte: Urbanetz Junior et al. (2014), Mariano et al. (2016).

O SFVCR do EV da UTFPR tem uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2 kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000). O sistema entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de apenas 15m² (URBANETZ JUNIOR, 2015). Na Figura 62 é ilustrado o painel fotovoltaico e o inversor do SFVCR do EV da UFTPR.



Figura 62 – Vista dos Painéis do EV e do Inversor - Sede Centro
Fonte: Urbanetz Junior et al. (2014), Mariano et al. (2016).

Analisando-se o funcionamento do SFVCR do EV nos anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e de 2016, observou-se uma geração total de 11,67 MWh (Mega Watt Hora) neste período. A geração de energia elétrica é proporcional à irradiação incidente no painel FV, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. Na Figura 63 são apresentados os valores de energia elétrica gerados em cada mês de operação do SFVCR do EV da UTFPR.

O acompanhamento nestes cinco anos de operação do SFVCR do EV em Curitiba confirma que esse sistema é de alta confiabilidade, visto que ele opera de forma ininterrupta desde sua instalação, de forma limpa e silenciosa e não necessita de área adicional, pois o painel fotovoltaico está instalado sobre o telhado da edificação. Dessa forma, comprava-se que essa é a forma mais promissora de geração distribuída para o ambiente urbano.

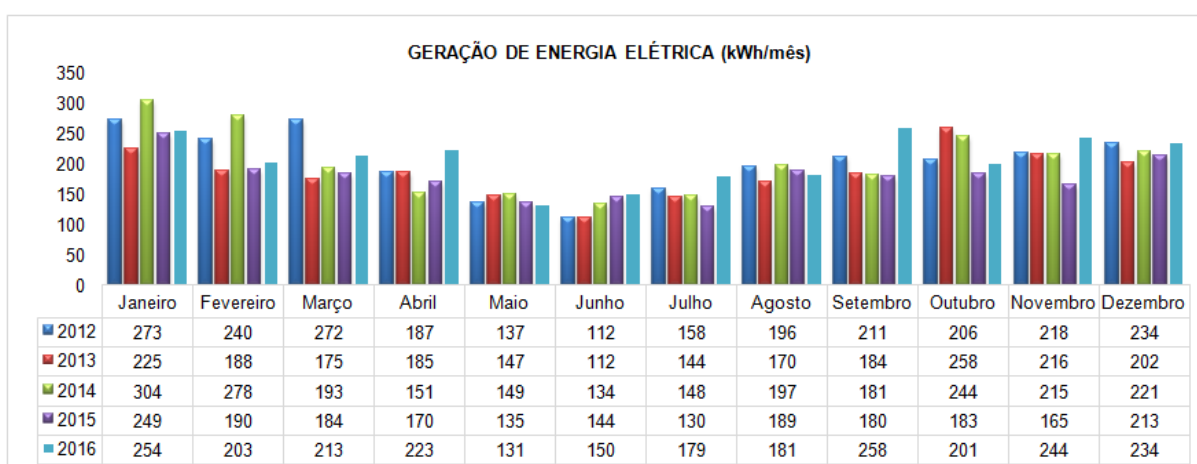


Figura 63 - Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) no EV para os anos de 2012 a 2016
Fonte: A autora.

Com base nestes resultados, serão propostos cenários de ampliação do SFVCR existente, utilizando as coberturas disponíveis conforme análise, e desta forma espera-se contribuir com a redução dos picos de demanda de energia e contribuir com a eficiência energética da sede Centro da UTFPR, onde até o presente momento apresenta a maior demanda por energia do câmpus da universidade.

3.6.2 Contribuição Energética do SFVCR Simulado para a Sede Ecoville

Para o câmpus Ecoville da UTFPR, em função de não existir um SFVCR instalado, serão feitas simulações a partir das áreas disponíveis no local. Desse modo, através dos dados de irradiação presentes no Atlas Brasileiro de Energia Solar é possível estimar a disponibilidade solar local e com aplicação de *softwares* como Radiasol, pode-se realizar o projeto de um SFVCR na sede Ecoville.

3.6.3 Contribuição Energética do SFVCR da Sede Neoville

Em 29 de fevereiro de 2016, entrou em operação o SFVCR instalado na sede Neoville do câmpus Curitiba da UTFPR, o qual foi cedido pela empresa Elco Engenharia. O sistema fotovoltaico (Figura 64) apresenta potência instalada total de 10,2 kWp, sendo constituído de 2 conjuntos de 17 módulos fotovoltaicos ligados em série, modelo: ELCO-A300P, totalizando 34 módulos de silício policristalino de 300 Wp em cada módulo. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de aproximadamente 68m², sendo que o inversor empregado no sistema é da marca Chint Power, padrão trifásico e sem transformador em 380 V de alto rendimento, modelo: CPS SCA 10KTL-DO e potência nominal de saída de 10 kW (URBANETZ *et al.*, 2016).



Figura 64 – Vista dos SFVCR e do Inversor da UTFPR - Curitiba
Fonte: Urbanetz *et al.* (2016).

O sistema de microgeração está localizado na Rua Pedro Gusso, nº 2.635, Cidade Industrial, Curitiba/ PR. Com relação à alocação dos módulos fotovoltaicos, optou-se pela orientação de acordo com as coordenadas geográficas de latitude - 25,50° e longitude -49,32°, e estes foram integralmente instalados sobre o telhado do bloco 1 da UTFPR, que apresenta estrutura de sustentação localizada abaixo deste sobre uma laje de concreto.

Vale ressaltar que a instalação dos módulos com inclinação de 25° (mesmo valor da latitude da cidade) e orientadas para o norte geográfico com desvio azimutal de 0°, possibilita o alcance das condições ótimas de instalação. Além disso, os módulos fotovoltaicos foram aterrados por meio de cabo de cobre de bitola 6mm² com isolamento EPR 0,6-1 kV, conectado através de conectores de aterramento e interligado na malha de terra, garantindo resistência elétrica menor que 5 Ω.

Em termos de estrutura metálica, optou-se por empregar aço galvanizado fixado na estrutura metálica interna do telhado conforme Figura 65, para garantir fixação e resistência contra cargas de vento, e assim garantir a fixação dos módulos fotovoltaicos na cobertura do bloco da UTFPR. Este serviço foi executado pela empresa Prosupport, a qual também cedeu o material empregado para montagem da estrutura.



Figura 65 – Estrutura Metálica e Detalhe de Fixação dos Módulos
Fonte: Acervo da Autora.

Quanto ao fornecimento de energia do local, a UTFPR é atendida em média tensão, por meio de uma entrada trifásica de 630 A, com um medidor padrão COPEL de consumo de energia. Dessa forma, não foi necessária a instalação de medidores bidirecionais, os quais medem a energia que é consumida da concessionária e a energia injetada pela UTFPR na rede, sendo necessária apenas a configuração efetuada remotamente com a rede elétrica (ANEEL, 2012) (COPEL, 2014).

A geração mensal média do SFVCR da sede Neville na UTFPR foi de 1.082,70 kWh/mês e que a geração diária média foi de 36,09 kWh, conforme acompanhamento dos dez primeiros meses mostrados na Figura 66. Observou-se uma geração total até Dezembro de 2016 de 10,57 MWh. Dessa forma, a previsão é que toda produção de energia será para uso próprio da UTFPR, evitando a aplicação do sistema de compensação regulamentado pela ANEEL, podendo dessa forma contribuir para redução da demanda por energia elétrica no câmpus Curitiba.

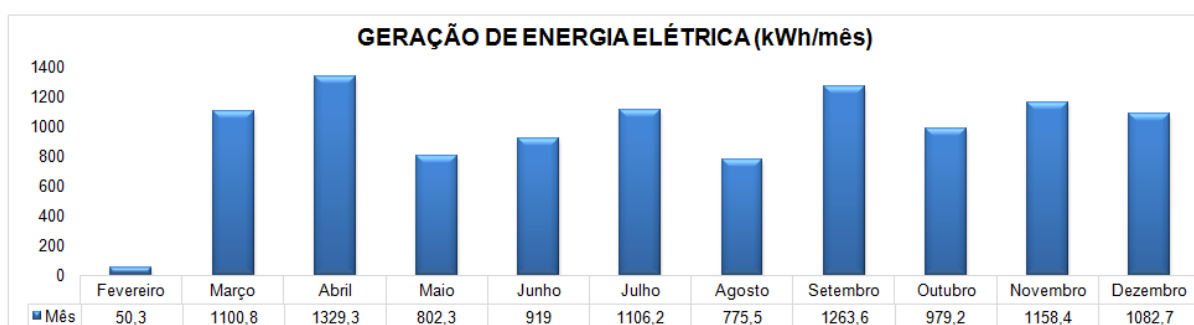


Figura 66 - Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) no SFVCR do Neville em 2016

Fonte: A autora.

Com a proposta de ampliação desse sistema, espera-se obter uma geração superior à demanda consumida, podendo assim contribuir com a redução de consumo nas outras sedes.

Conseqüentemente, a partir dos dados de produção e desempenho desse sistema, é possível projetar cenários e prever o comportamento e funcionamento tanto para as demais sedes quanto a ampliação do SFVCR presente na sede Neville.

3.7 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL

Com base nos dados levantados e descritos nos subitens anteriores, é possível quantificar índices de contribuição energéticas e ambientais para os cenários analisados. Após a análise de áreas disponíveis, sombreamento, orientação e inclinação dos módulos FV, pode-se empregar *softwares* específicos de simulação da irradiação solar, os quais geram gráficos e relatórios da irradiação para diversas condições de inclinação e orientação conforme condições do local.

Desse modo, os relatórios gerados por estes *softwares* contribuem com o cálculo da estimativa da geração FV, possibilitando a sobreposição de curvas de cargas e análise de redução de pico de demanda, além disso, determinam a viabilidade da instalação de SFVCR no local analisado. Neste sentido, as emissões evitadas e a redução e impactos ambientais serão quantificadas com a aplicação de tais sistemas no meio urbano.

A partir dos gráficos gerados no programa Radasol será possível sobrepor as curvas de cargas da UTFPR e estas permitirão identificar a contribuição da geração fotovoltaica em termos de redução do pico de demanda.

Em termos de redução do consumo energético, um parâmetro para análise dos resultados será o Nível de Penetração Energético (NPE), calculado conforme a Equação 5.

$$NPE = \frac{E_{FVNP}}{E_{SE}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

E_{FVNP} : Energia gerada pelo sistema fotovoltaico com determinado Nível de Penetração (NP), ao longo de um dia ou ano (MWh);

E_{SE} : Energia consumida pelo sistema elétrico da região estudada, ao longo de um dia ou ano (MWh).

Para o cálculo da energia gerada pelo sistema fotovoltaico com determinado NP, ao longo de um dia (MWh), utiliza-se a Equação 6.

$$E_{FVNP} = P_{FVNP} \times H_{TOTAL} \times 365 \times PR \quad (6)$$

Onde:

E_{FVNP} : Energia gerada pelo sistema fotovoltaico, com um certo NP, ao longo do ano, GWh;

P_{FVNP} : Potência fotovoltaica de pico, definida em função do NP (MWp);

H_{TOTAL} : irradiação solar diária média anual para a cidade de Curitiba (Wh/m².dia);

PR: *Performance Ratio* ou taxa de desempenho do sistema, considerada igual a 0,75.

O parâmetro aplicado para análise da redução de demanda é análise do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) que “é definido como uma medida da capacidade de crédito de um sistema fotovoltaico, ou ainda, do aumento da capacidade disponível da rede elétrica atribuída à geração fotovoltaica” (JARDIM, 2007).

De acordo com Rebechi (2008), o cálculo do FECC para um dia específico consiste em subtrair do pico da curva de demanda deste dia o pico da curva equivalente à demanda do alimentador em questão quando são inseridos os SFVCR e logo após dividir este valor pela capacidade nominal instalada do SFVCR, como é apresentado na Equação 7.

$$FECC = \frac{P_{DMAX} - P_{DMAXFV}}{P_{FVNP}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

FECC: Fator Efetivo de Capacidade de Carga, %;

P_{DMAX} : Potência demandada máxima no dia sem a contribuição fotovoltaica;

P_{DMAXFV} : Potência demandada máxima no dia com a contribuição fotovoltaica;

P_{FVNP} : Potência fotovoltaica de pico, definida em função do NP (MWp).

3.7.1 Análise Referente à Sede Centro

Partindo das áreas disponíveis e SFVCR do EV na sede Centro, serão criados cenários de utilização das áreas extrapolando valores de medição ao longo dos 5 anos de operação do sistema presente na sede Centro. Partiu-se dos valores que compõem a curva de potência instantânea do inversor do SFVCR instalado no EV, estes valores serão multiplicados pelo fator de ampliação, conforme área disponível para aplicação do SFVCR proposto, possibilitando o cálculo da energia fotogerada e o percentual de redução energético para os dias escolhidos.

Nos dias letivos elencados, serão sobrepostas as curvas de carga x geração FV, extrapolando áreas utilizadas. Dessa forma é possível mensurar a redução dos picos de demanda, pois como analisado nos subitens anteriores, a sede Centro apresenta perfil de cargas diurno, onde efetivamente os SFVCR poderão contribuir com a redução, devido à geração FV ocorrer no mesmo momento em que a edificação apresenta maior demanda por energia elétrica.

3.7.2 Análise Referente à Sede Ecoville

A análise para a sede Ecoville por sua vez, será baseada nas áreas disponíveis para a inserção de SFVCR (projeto), e nos dados de irradiação solar coletados no Atlas Brasileiro de Energia Solar. A partir dos dados de irradiação solar horários coletados no portal do INMET e da potência do SFVCR projetado, será calculado o total de energia fotogerada e o percentual de redução energético para os dias escolhidos.

Com base na irradiação disponível do local será estimada (calculada) a previsão da geração FV, possibilitando a sobreposição de curvas de cargas x geração FV simulada mediante escolha de dias letivos elencados. A partir da análise do perfil de cargas da sede Ecoville, notou-se um perfil noturno de demanda, e sendo assim os SFVCR passam a contribuir com eficiência energética do câmpus como um todo, podendo gerar energia no local, injetando o excedente no sistema para compensação inclusive em outra sede.

3.7.3 Análise Referente à Sede Neville

Por fim, de forma equivalente a sede Centro, partindo da análise do SFVCR existente na sede Neville, serão criados cenários de utilização das áreas extrapolando valores de medição da energia elétrica produzida ao longo do ano, utilizando dados de potência instantânea do inversor do SFVCR desta sede, multiplicando pelo seu fator de ampliação encontrado.

Nos dias letivos elencados, serão sobrepostas as curvas de carga x geração FV extrapolando áreas utilizadas. Do mesmo modo, é possível mensurar a contribuição energética do câmpus como um todo, devido ao perfil diurno da sede Neville.

3.7.4 Emissões Evitadas – Câmpus Curitiba

A implantação de SFVCR no local proposto viabiliza a redução de emissões de GEE's, e sua quantificação será baseada nos fatores médios de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional (SIN) que o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) apresenta para aplicação em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A escolha dessa metodologia baseou-se em uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que quantifica as emissões associadas à energia despachada no SIN, além do fator de emissão da margem de construção, que traz as emissões associadas às últimas usinas construídas (MCTI, 2015).

Neste sentido, optou-se pela metodologia para quantificar as emissões evitadas como sendo a média dos valores dos últimos dez anos divulgados pelo MCTI. A metodologia utilizada nesta pesquisa optou pela simplificação, justificada pela complexidade dos estudos envolvendo as emissões de CO₂ equivalente ao longo do ciclo de vida das diversas fontes para geração de energia elétrica, bem como a dificuldade em obter todas as informações necessárias. Logo, este estudo trata das emissões de CO₂ equivalente evitadas na geração fotovoltaica baseado nos cenários propostos dos itens anteriores, pois durante a geração as emissões são nulas, para os diferentes cenários de inserção propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo abordará os parâmetros necessários para estudo do potencial da geração fotovoltaica no câmpus Curitiba da UTFPR, a análise e discussão dos possíveis cenários com a aplicação dessa tecnologia. Os parâmetros analisados se referem ao levantamento de coordenadas geográficas dos locais estudados, irradiação solar disponível, análise das coberturas disponíveis, nova demanda e consumo (calculados) de energia elétrica local, o levantamento da contribuição energética efetiva, bem como as emissões de GEE's que podem ser evitadas com a implantação de SFVCR no câmpus Curitiba.

4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE CENTRO

4.1.1 Coordenadas Geográficas

A verificação das coordenadas geográficas foi realizada a partir da aplicação do *software Google Earth Pro*, em que possibilitou levantar a latitude, longitude e desvio azimutal, $-25,44^\circ$ (Sul), $-49,27^\circ$ (Oeste) e 22° (Oeste), respectivamente. Para o cálculo do desvio azimutal o recurso empregado foi a ferramenta de medição de ângulo do programa *Autocad*, onde traçou-se uma linha auxiliar dando continuidade aos telhados e uma linha auxiliar dando continuidade à linha em direção ao norte indicado nas plantas baixas até o cruzamento destas.

O levantamento das coordenadas geográficas e o respectivo desvio azimutal do local possibilitaram identificar os dados de irradiação solar horizontal no Atlas Brasileiro de Energia Solar, o qual contém informações de irradiação solar mensal e anual média em função da latitude e longitude.

A partir desses dados o próximo procedimento é o levantamento de dados de irradiação solar no Atlas Brasileiro de Energia Solar possibilitando uma comparação entre dados de irradiação do portal do INMET e dados do piranômetro instalado no local e estes resultados serão apresentados no subitem seguinte.

4.1.2 Irradiação Solar

Conforme Pereira *et al.* (2006), é possível identificar dados de irradiação solar para o plano horizontal mapeado no território brasileiro. No estudo em questão, os valores mais próximos referentes à longitude e latitude encontrados no Atlas Brasileiro de Energia Solar foram de $-49,27^\circ$ e $-25,43^\circ$ respectivamente, distanciando do local estudado pouco mais de 1 km conforme Figura 67.

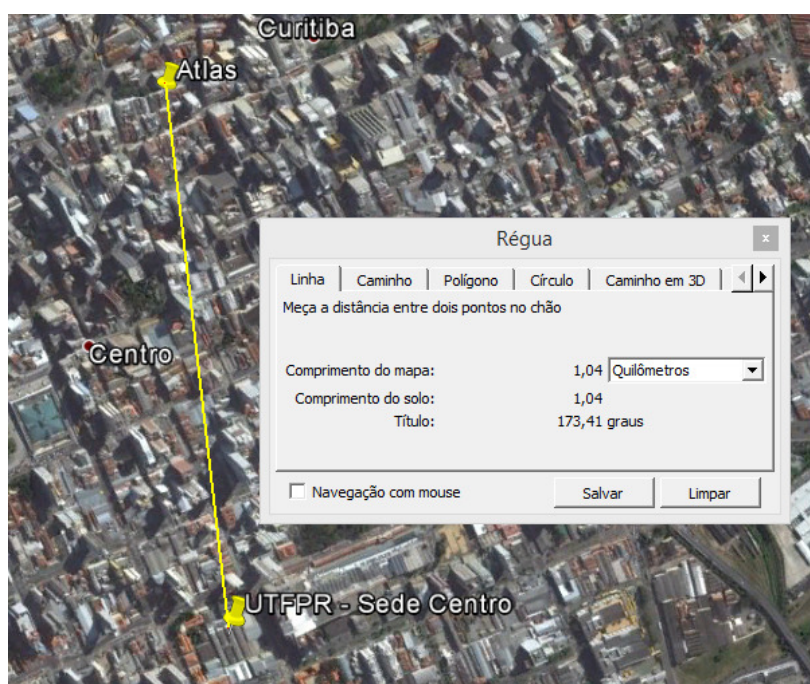


Figura 67 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Centro
 Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

Na Tabela 7 são mostrados os dados de irradiação solar para o plano horizontal para o referido ponto mais próximo mapeado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar. Na segunda linha da Tabela 7 são apresentados os valores de irradiação média mensal e anual horizontal coletados no portal do INMET no ano de 2016, podendo ser utilizado para a análise das 3 sedes, pois sua estação solarimétrica se encontra em um único ponto de medição na cidade de Curitiba conforme indicação de sua latitude e longitude. E por fim, na terceira linha da Tabela 7 são mostrados os dados de irradiação existente na sede desde 2015, em que refletem as condições reais de irradiação do local.

Tabela 7 – Dados de Irradiação Global da Sede Centro

FONTE DE DADOS DE IRRADIAÇÃO	IRRADIAÇÃO GLOBAL - kWh/m ² .dia														
	LONG	LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
ATLAS	-49,27	-25,43	5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92	4,61
INMET	-49,23	-25,44	5,40	4,97	4,48	4,59	2,61	2,65	3,68	3,61	5,27	4,12	5,10	4,81	4,27
PIRANÔMETRO	-49,16	-25,26	5,31	4,56	4,41	4,59	ND	2,25*	3,37	3,69	5,12	4,09	5,05	4,82	4,39

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, (2016), INMET(2016) e Piranômetro (UTFPR).

ND: Dados não disponíveis. * Média de dados de 14 dias de coleta.

Conforme dados apresentados na Tabela 7, os valores diários médios máximos e mínimos para irradiação global presentes no Atlas da sede Centro são de 3,08 e 5,97 kWh/m².dia para os meses de Junho e Novembro respectivamente, e o valor médio anual é de 4,61 kWh/m².dia.

Os dados coletados no site do INMET mostram que o mês com menor de incidência foi o mês de Maio no ano de 2016 registrando um valor de 2,61 kWh/m².dia, enquanto que o valor máximo de incidência ocorreu no mês de Janeiro apresentando um valor de 5,40 kWh/m².dia, resultando em um valor médio anual de 4,27 kWh/m².dia.

Adicionalmente, esses dados podem ser comparados com os valores registrados pelo piranômetro existente na sede desde 2015, pois estes refletem as condições reais de irradiação do local, assim como os dados dos anos de 2015 e 2016 coletados no site do INMET.

A partir dos dados de irradiação global coletados pelo piranômetro instalado no local, nota-se que os valores são levemente inferiores quando comparados ao INMET e ao Atlas Brasileiro de Energia Solar devido a representar as condições de irradiação local. Conforme a Tabela 7, os valores diários médios máximos e mínimos registrados pelo piranômetro no local foram de 2,25 kWh/m² no mês de Junho, e de 5,31 kWh/m² no mês de Janeiro respectivamente, enquanto que o valor médio anual foi de 4,39 kWh/m².dia.

Para a determinação do potencial fotovoltaico, em termos de potência instalada e energia elétrica a ser produzida, foram aplicados os valores históricos de irradiação solar, obtidos no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Contudo, os dados de irradiação solar registrados no INMET, serão aplicados na análise dos dias típicos e também no desempenho do SFVCR existente na sede Centro, podendo ser comparados com as medições de irradiância efetuadas pelo piranômetro no ano de

2016, pois além de refletir dados reais de irradiação solar local, é possível gerar gráficos diários de irradiância que ilustram a condição real de incidência solar nos dias analisados.

4.1.3 Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado

A partir da aplicação do *software* Radiasol, é calculado a irradiação incidente no plano inclinado utilizando os dados de entrada de irradiação global horizontal do Atlas Brasileiro de Energia Solar para latitude $-25,43^\circ$ e longitude $-49,27^\circ$, conforme mostrado na Figura 68.



Figura 68 – Radiasol com Valores de Irradiação no Plano Horizontal da Sede Centro
Fonte: Acervo da Autora.

Então, obteve-se a correção da irradiação solar para o plano inclinado onde o ângulo de 23° e desvio azimutal de 22° para o oeste resultou o melhor valor de irradiação anual, diferente das condições ideais, devido ao melhor aproveitamento das áreas disponíveis respeitando o alinhamento predial, conforme valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados de Irradiação no Plano Inclinado da Sede

IRRADIAÇÃO PLANO INCLINADO (RADIASOL) - kWh/m².dia														
ÂNG.	D. AZI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
23°	22° (O)	5,53	5,46	5,27	4,51	3,74	3,67	3,88	4,82	4,56	5,10	5,84	5,72	4,84

Fonte: Acervo da Autora.

De acordo com os resultados obtidos com a aplicação do software Radiasol (Tabela 8), nota-se que os meses de menor e maior irradiação para o plano inclinado são nos meses de Junho e Novembro, resultando em 3,67 kWh/m².dia e 5,84 kWh/m².dia respectivamente. O valor de irradiação anual encontrado para o ângulo simulado foi de 4,84 kWh/m².dia, e este será utilizado para estimar o valor de geração média conforme cenário de ampliação proposto para a sede Centro.

4.1.4 Análise de Coberturas da Sede Centro

Conforme citado anteriormente, a área total da sede Centro da UTFPR é de 23.172 m², devido à localização inserida no meio urbano, com edificações que apresentam diferentes alturas em seu entorno e blocos de diferentes alturas (Figura 69), optou-se pela análise o sombreamento que eventualmente pode ocorrer em seus blocos, evitando perdas na geração de energia com alocação de painéis FV nestas áreas identificadas.

Na Figura 69 é mostrada uma vista da sede Centro com seu entorno construtivo, considerando as edificações adjacentes e as sombras geradas por elas. Para esta análise realizou-se um levantamento *in loco* onde foi determinada a localização de cada edifício, seus respectivos nomes e quantidades de andares. Iniciou-se pela parte leste, conforme imagem 3D no Shopping Center Estação, o qual apresenta 9 andares com pé direito duplo mais um heliponto.

Do lado direito entre as esquinas da Avenida Sete de Setembro e Avenida Marechal Floriano Peixoto, encontra-se o edifício Life Space apresentando 26 andares, mais hall com pé direito duplo e uma sobreloja. Na outra esquina é situado o edifício Ilha Verde, nº 3.050 com 15 andares mais hall com pé direito simples e sobreloja.

Outra edificação levada em consideração foi o Shopping Center 7, localizado na Avenida Sete de Setembro, nº 3.146 que apresenta 14 andares, mais um hall com pé direito simples e uma sobreloja. Na Rua Desembargador Westphalen existem 2 edifícios analisados sendo o Edifício Westphalen, nº 824 com 20 andares, mais hall de pé direito duplo, e o edifício Atem, nº 868, com 11 andares mais hall de pé direito duplo.



Figura 69 – Vista da Sede Centro e Seu Entorno Construtivo em 3D
Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

Conforme Figura 69 nota-se que existe sombreamento na quadra da sede Centro, onde o edifício *Life Space* projeta sombra sobre o bloco E, e uma pequena parte da quadra poliesportiva é sombreada pelo Shopping Center Estação. Logo, a análise mais detalhada de sombreamento utilizando o *software Sketch Up* é justificada para auxiliar na escolha dos locais livres de sombra, apresentada na Figura 70.

A análise de sombreamento com precisão, exige que o documento seja georeferenciado para simular a sombra correta, que é possível adicionando a localização com os comandos deste software através do uso de demarcações nos mapas do *Google*. A partir das plantas baixas em *Autocad* disponibilizadas pelo DEPRO, estas foram inseridas no arquivo do *Sketch Up*, que além das áreas dos blocos da referida sede, obtiveram-se suas respectivas alturas, para a elaboração das plantas em 3D no *software Sketch Up*. Com isso, puderam-se simular horários em que o sol pode interferir no sombreamento tantos dos blocos quanto das edificações adjacentes presentes no local.

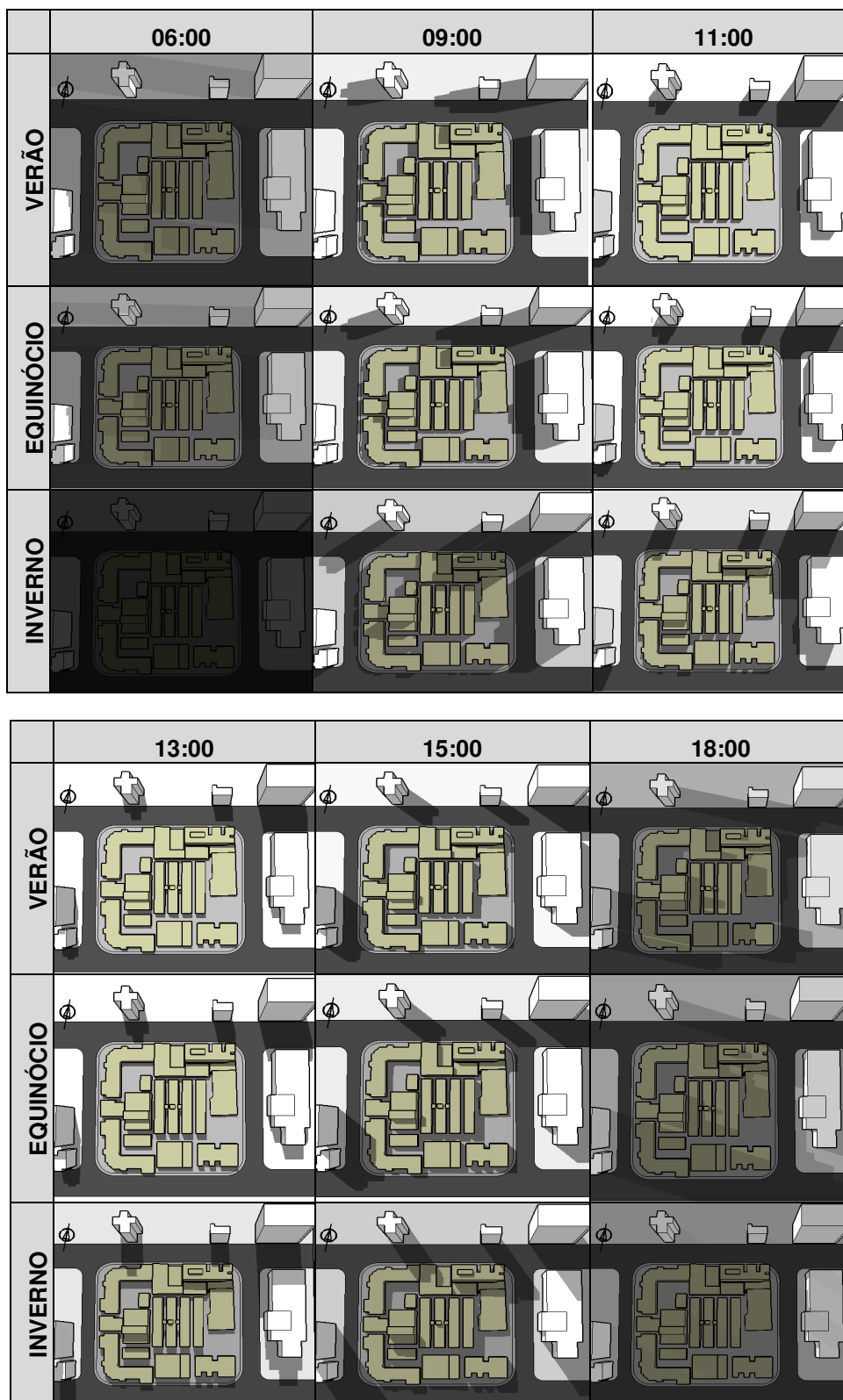


Figura 70 – Análise de Sombreamento da Sede Centro
 Fonte: Acervo da Autora.

Neste sentido aplicou-se o *software Sketch Up* para esta análise, conforme Figura 70, onde foram simulados os horários com disponibilidade de irradiação solar, no período do verão, equinócio e invernos e optou-se pelos seguintes horários: 6:00,

9:00, 11:00, 13:00, 15:00 e as 18:00 horas respectivamente. Assim, obteve-se 3 medições para o turno da manhã e 3 para o turno da tarde. Na Figura 71 são mostradas as áreas selecionadas da sede Centro.

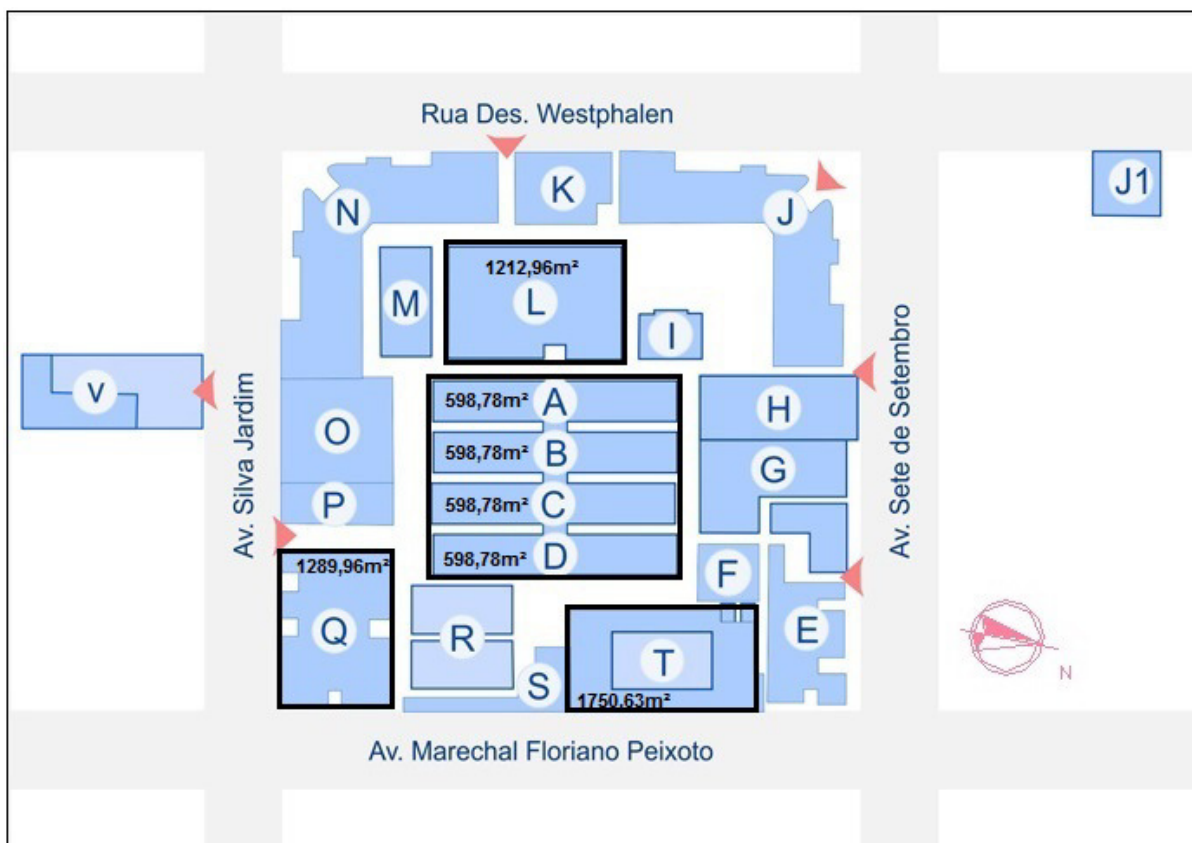



Figura 71 – Áreas de Coberturas Selecionadas da Sede Centro
 Fonte: Adaptado de UTFPR (2016).

A partir da análise de sombreamento realizada, identificaram-se os blocos mais adequados para a aplicação de módulos fotovoltaicos sendo: A, B, C, D, L, T e Q, conforme indicados na Figura 71, pois estes apresentam suas coberturas com pouca inclinação e sem sombreamento por edificações adjacentes ou vegetações.

A área total dos blocos escolhidos para implantação do SFVCR, excluindo áreas ocupadas por caixas d'água, clarabóias e áreas sombreadas é de aproximadamente de 6.500 m², de acordo com as medições efetuadas por meio da análise das plantas baixas da instituição disponibilizadas pelo DEPRO, apontadas na Figura 71 para cada bloco escolhido. Dessa forma, estas áreas podem ser aproveitadas para a implantação de SFVCR na sede Centro e seu valor utilizado nas etapas seguintes.

4.1.5 Cenário de Ampliação do SFVCR Existente na Sede Centro

Para o dimensionamento do SFVCR proposto, optou-se pelo módulo fotovoltaico da Hareon Solar, com potência de 330 Wp, o qual apresenta uma área de 1,94 m², na tecnologia de silício policristalino conforme especificações técnicas apresentadas na Figura 72.



ELECTRICAL PARAMETERS		PARAMETERS		
TYPE	HR-330W			
STC AM 1.5, 1000W/m ² , Module Temperature 25°C	Rated Max. Power at STC (W)	330	Cell (mm)	156x156 Poly
	Max. Power Voltage / Vmp (V)	37.25	Weight (kg)	21.5/21.8
	Max. Power Current / Imp (A)	8.86	Dimensions (LxWxH) (mm)	1952x992x35/40
	Open Circuit Voltage / Voc (V)	45.94	Cable Cross Section Size (mm ²)	4
	Short Circuit Current / Isc (A)	9.41	No. of Cells and Connections	72(6x12)
	Module Efficiency (%)	17.04	No. of Diodes	3
NOCT AM 1.5, 800W/m ² , Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s	Rated Max. Power at NOCT (W)	237.5	Max. System Voltage	1000VDC
	Max. Power Voltage / Vmp (V)	33.64	Max. Series Fuse	15 A
	Max. Power Current / Imp (A)	7.06	Max. Wind Load / Max. Snow Load	4200Pa / 6000Pa
	Open Circuit Voltage / Voc (V)	41.50		
	Short Circuit Current / Isc (A)	7.73		
	Module Efficiency (%)	15.33		

Figura 72 – Módulo FV Escolhido e Especificações
Fonte: Adaptado de *Hareon Solar* (2016).

Entretanto, como o estudo considera a aplicação do gerador FV a 23º de inclinação é necessário acrescentar o fator de espaçamento, ou seja, a distância entre a fileira de módulos, método este sugerido por Pinho e Galdino (2014), mostrados nas Figura 73 e Figura 74, a fim de evitar o sombreamento entre estas.

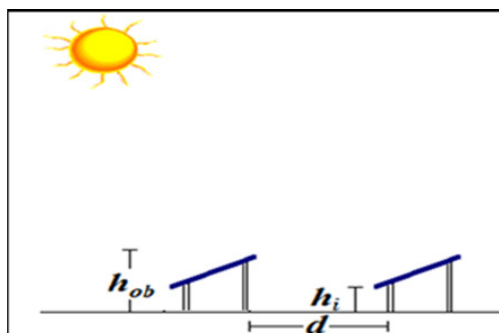


Figura 73 – Espaçamento Mínimo Entre as Fileiras
Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino (2014).

Dessa forma, para o cálculo de espaçamento mínimo entre as fileiras de módulos FV aplicou-se a Equação 8.

$$d = Fe \times (h_{ob} - h_i) \quad (8)$$

Onde:

d: distância mínima a ser mantida entre as fileiras de módulos FV (m);

Fe: fator de espaçamento obtido pela curva da Figura 74;

h_{ob} : altura do obstáculo (fileira) (m);

h_i : altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

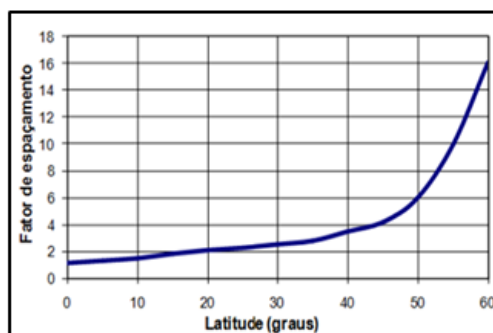


Figura 74 – Fator de Espaçamento em Função da Latitude
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Logo, a partir da Equação 5, obteve-se o seguinte espaçamento:

$$d = 2 \times (\text{sen } 23^\circ \times 1,952 - 0)$$

$$d = 2 \times (0,76 - 0) = 1,52m$$

Somando-se o espaçamento necessário (1,52 m), com a projeção do módulo inclinado a 23° (1,80 m), chega-se a uma distância total de 3,32 m. Como a largura de cada módulo é de aproximadamente 1 m, a área total requerida por módulo de $3,32 \text{ m}^2$, sendo esses valores aplicados na Equação 1.

$$N_{mód} = \frac{6.500m^2}{3,32m^2}$$

$$N_{mód} = 1.957$$

Aplicando-se as áreas na Equação 1, obteve-se o número de módulos igual a 1.957. Com a quantidade de módulos é possível calcular a potência do gerador fotovoltaico aplicando-se a Equação 2.

$$P_{FV} = 330 \times 1.967$$

$$P_{FV} = 645,81 \text{ kWp}$$

A partir da área disponível e da quantidade de módulos, obteve-se uma potência instalada de 645,81 kWp. Logo, com o valor da potência instalada, irradiação média anual obtida no programa Radiasol e *Performance Ratio* de 0,75 é possível estimar, através da Equação 3, os valores de geração média de energia elétrica mensal e anual descritos em MWh na Tabela 9.

$$E = \frac{645,81 \times 4,84 \times 0,75}{1}$$

$$E = 2.344,29 \text{ kWh / dia}$$

Tabela 9 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Centro

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
83,03	74,05	79,13	65,53	56,16	53,33	58,26	72,37	66,26	76,58	84,86	85,89	855,67

Fonte: A autora.

Nota-se o que o valor estimado de energia diária é de 2.344,29 kWh/dia, enquanto que o os valor total anual a ser produzido pelo SFVCR é de 855,46 MWh/ano. A análise proposta possibilitou a determinação do potencial para geração fotovoltaica da sede Centro da UTFPR, resultando em um sistema aproximadamente 307,5 vezes maior que o SFVCR existente. Com base nesse resultado, é proposto um cenário de ampliação do sistema existente na sede, extrapolando os valores de potência obtidos (307,5x) nos dias elencados para a análise.

4.1.6 Consumo de Energia

Os dados de consumo de energia da sede Centro da UTFPR, conforme descrito no capítulo anterior, foram coletados mediante acesso à plataforma CAS Hemera da Copel, de acordo com os dias críticos elencados para o presente estudo.

Com relação à energia fotogerada calculada, considerou-se o cenário de ampliação do sistema existente nesta sede, onde seu valor de potência foi aumentado em 280 vezes, devido ao potencial de ampliação do SFVCR baseado nas áreas disponíveis para alocação dos módulos FV.

Na Tabela 10 são mostrados os dados de consumo da sede Centro, bem como o total de energia fotogerada calculado, considerando a potência instantânea do inversor do EV e os respectivos percentuais de redução energéticos para os dias elencados para a análise.

Tabela 10 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Centro

Data	Consumo Diário Total (kWh)	Total de Energia Fotogerada (kWh)	Percentual de Redução (%)
22/03/2016	39.063	625	1,6%
17/03/2016	41.328	2.387	5,8%
28/03/2016	38.625	3.213	8,3%
20/06/2016	36.809	232	0,6%
15/06/2016	36.676	2.085	5,7%
07/06/2016	36.002	2.263	6,3%

Fonte: A autora.

Conforme esperado, quanto maior a disponibilidade de irradiação solar tanto para o mês de Março quanto para o mês de Junho, o total de energia fotogerada calculada resultará em valores diretamente proporcionais à irradiação solar. Devido à utilização de condicionadores de ar nas edificações, nota-se que o consumo de energia foi mais elevado no mês de Março, e que neste mês o potencial de redução é superior ao mês de Junho.

4.1.7 Demanda de Energia

A seguir são mostradas as novas curvas de demanda de energia da sede Centro da UTFPR, sendo que estas foram geradas a partir da subtração da demanda fornecida pela concessionária de hora em hora, pela potência que um SFVCR com 645,81 kWp poderá produzir de hora em hora nos dias elencados de

acordo com o perfil de consumo da sede. Na Figura 75 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Março (22/03/2016).

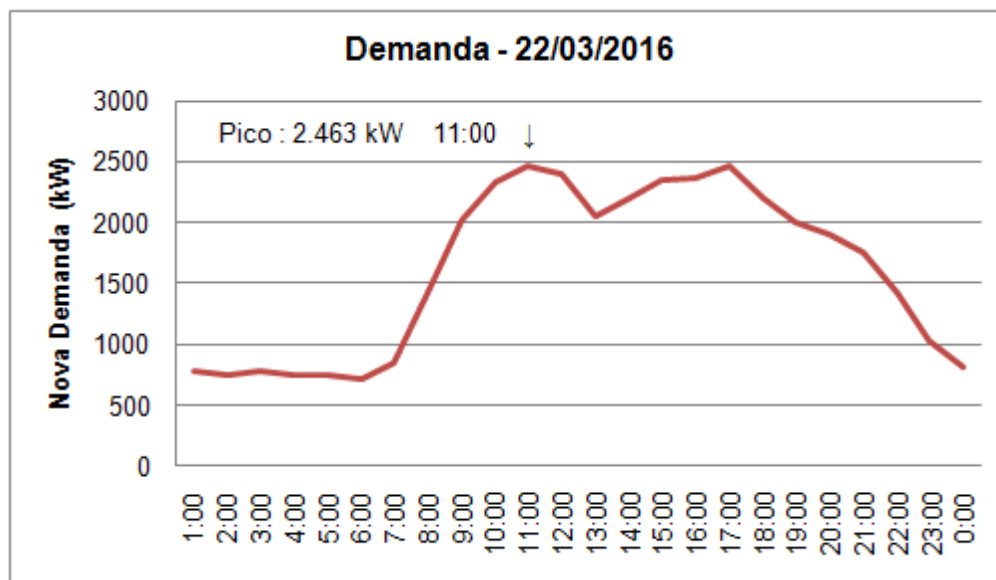


Figura 75 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Março – Sede Centro)
Fonte: A autora.

Na Figura 75 é mostrada a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada para cada hora do dia selecionado. O pico de demanda de 2.532 kW que ocorreu às 16:00 (Figura 37), pode ser deslocado para as 11:00 e reduzido para 2.463 kW, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 76 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Março (17/03/2016).

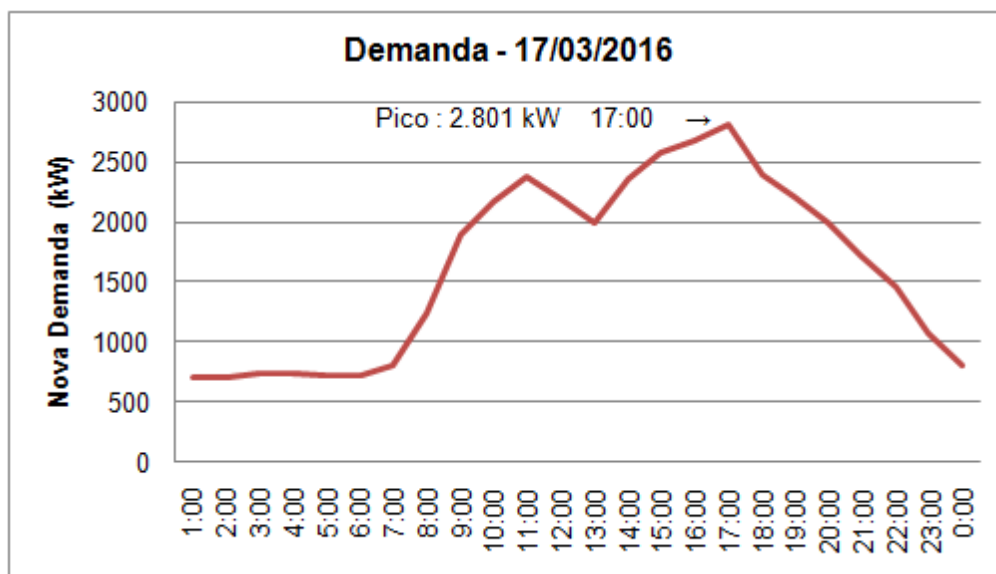


Figura 76 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica – Março – Sede Centro)
 Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Março, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 76, mostrando que o pico de demanda de 2.846 kW que ocorreu as 16:00 (Figura 38), poderá ser deslocado para as 17:00 e reduzido para 2.801 kW, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 77 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Março (28/03/2016).

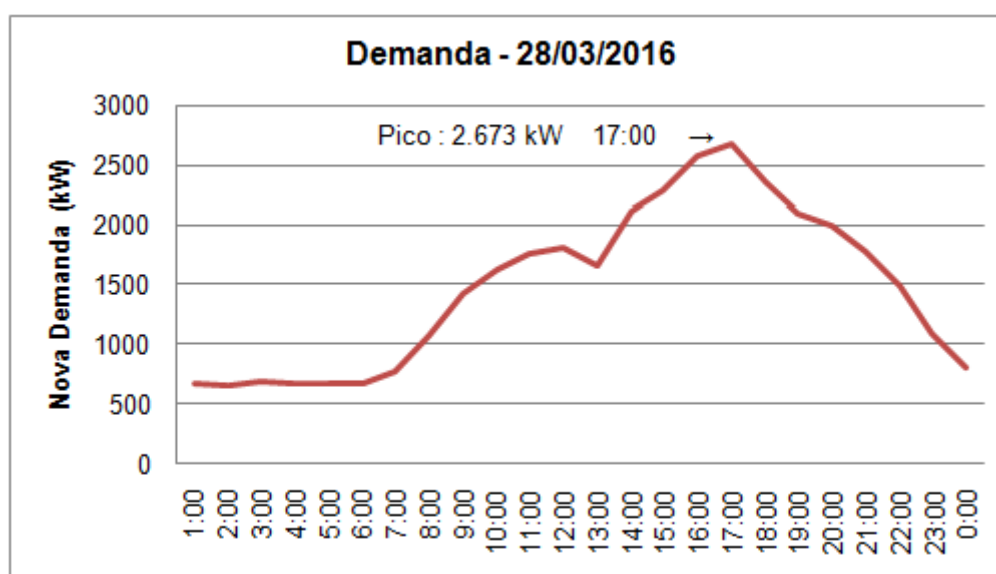


Figura 77 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março – Sede Centro)
 Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Março, em que o pico de demanda foi de 2.673 kW as 17:00 (Figura 39), não obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 77. Observa-se o pico da demanda continua existindo as 17:00, embora haja alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

A seguir são apresentadas as análises para os dias elencados de Junho, considerando irradiação mínima, típica e máxima. Na Figura 78 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Junho (20/06/2016).

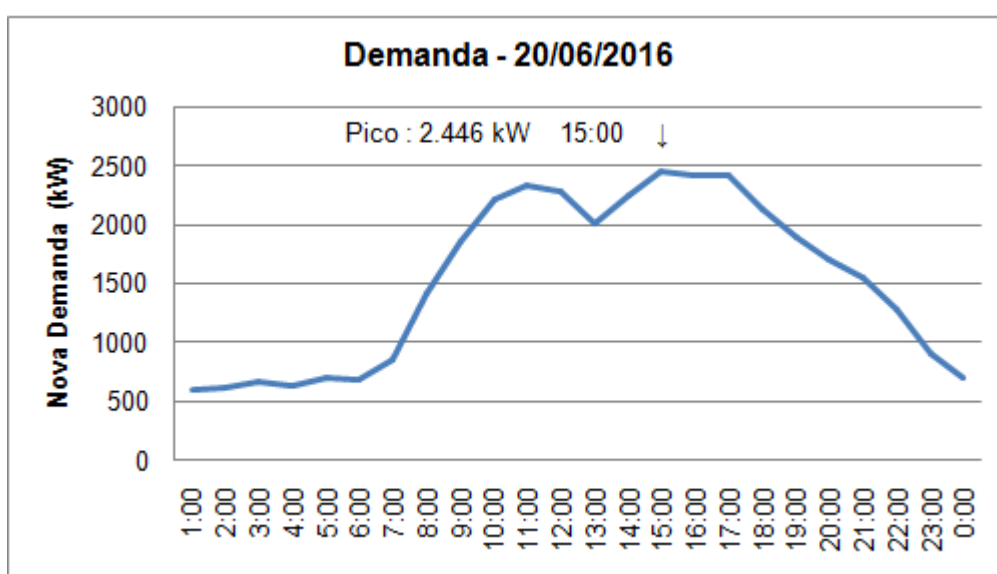


Figura 78 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Junho – Sede Centro)
Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 78 observa-se que o pico de demanda de 2.452 kW que ocorreu as 15:00 (Figura 40), poderá ser reduzido para 2.446 kW permanecendo as 15:00, embora possa ocorrer alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 79 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Junho (15/06/2016).

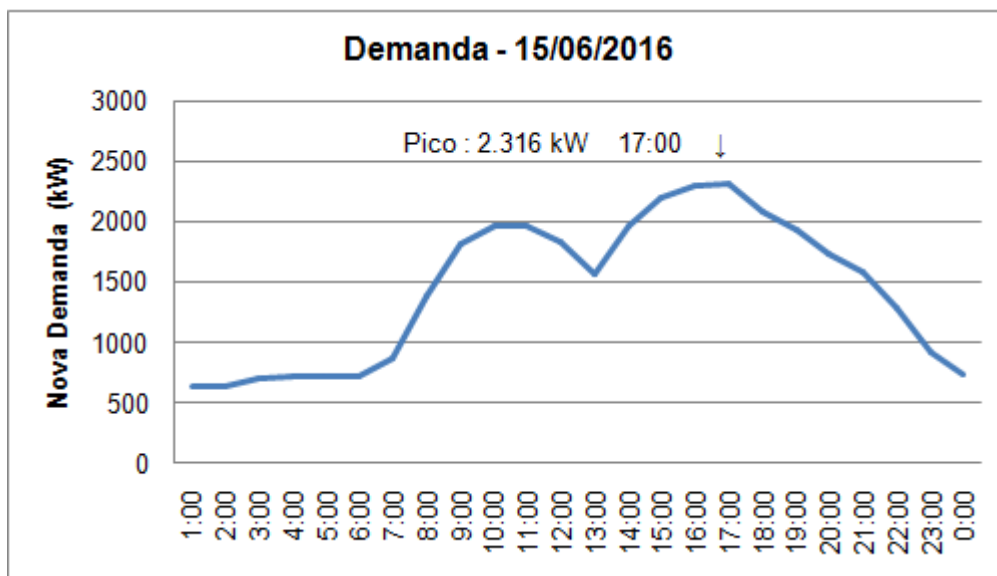


Figura 79 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho – Sede Centro)
Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Junho, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 79, mostrando que o pico de demanda de 2.340 kW que ocorreu as 16:00 (Figura 41), poderá ser deslocado para as 17:00 e reduzido para 2.316 kW.

Na Figura 80 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Junho (07/06/2016).

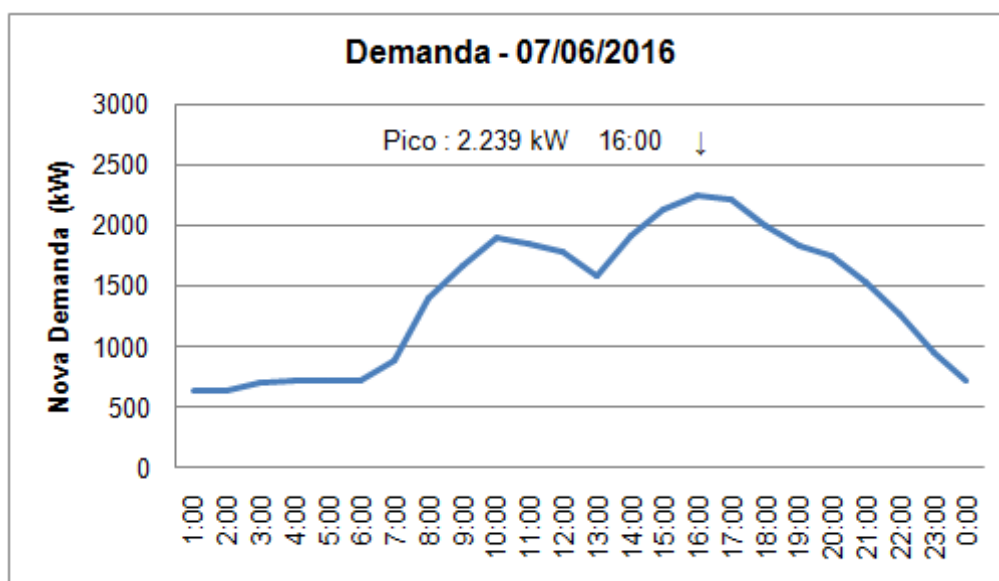


Figura 80 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho – Sede Centro)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de inverno, em que o pico de demanda foi de 2.285 kW as 15:00 (Figura 42), obteve-se redução no pico de demanda e alteração do comportamento da demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 80. Observa-se que, o pico de demanda, poderá ser deslocado para as 16:00 e reduzido para 2.239 kW.

Neste sentido, é realizada no subitem seguinte a análise detalhada do percentual de redução do consumo energético e o cálculo do aumento da capacidade disponível da rede elétrica quando considerado a ampliação do SFVCR existente na sede Centro.

4.1.8 Análise da Contribuição Energética

Conforme descrito no capítulo anterior, pode-se estimar os níveis de redução energético aplicando-se parâmetros de análise através do cálculo do Nível de Penetração Energético (NPE) e Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC). Neste sentido, aplicou-se a Equação 5 para o cálculo do NPE da sede Centro da UTFPR. A energia total consumida nesta sede no ano de 2016 foi de 6.442,28 MWh e a energia gerada por um SFVCR instalado de 645,81 kWp, seria de 855,67 MWh (Tabela 9), portanto:

$$NPE = \frac{855,67}{6.442,28} \times 100 \qquad NPE = 13,28\%$$

Logo, a partir da aplicação desta equação obteve-se um NPE de 13,28% de redução de energia elétrica com a implantação de um SFVCR de 645,81 kWp.

Para análise dos dias escolhidos no que se refere à redução dos picos de demanda, utilizou-se a Equação 7 e seus resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Cálculo do FECC Para a Sede Centro

FATOR EFETIVO DE CAPACIDADE DE CARGA (645,81 kWp)			
DIA	DEMANDA	NOVA DEMANDA	FECC (%)
22/03/2016	2.532	2.463	10,7
17/03/2016	2.846	2.802	6,8
28/03/2016	2.673	2.673	0,0
20/06/2016	2.452	2.446	1,0
15/06/2016	2.340	2.316	3,7
07/06/2016	2.285	2.239	7,1

Fonte: A autora.

De acordo com os dados apresentados, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda ocorre no dia 22/03/2016, resultando em um FECC de 10,7%. Entretanto, no dia 28/03/2016 a redução de pico de demanda foi nula, devido ao pico ocorrer no horário em que o SFVCR não apresentou mais contribuição energética neste dia.

4.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE ECOVILLE

4.2.1 Coordenadas Geográficas

Através do *software Google Earth Pro* e *Autocad* obteve-se os seguintes valores das coordenadas geográficas (latitude, longitude e desvio azimutal) de -25,24° (Sul), -49,18° (Oeste) e 50° (Leste), respectivamente.

A partir destes dados identificaram-se os dados de irradiação solar horizontal no Atlas Brasileiro de Energia Solar, o qual contém informações de irradiação solar mensal e anual média em função da latitude e longitude e estes resultados apresentados no subitem seguinte.

4.2.2 Irradiação Solar

Os valores mais próximos referentes à longitude e latitude encontrados no Atlas Brasileiro de Energia Solar foram de $-49,18^\circ$ e $-25,24^\circ$ respectivamente, distanciando do local estudado aproximadamente de 4 km conforme Figura 81.

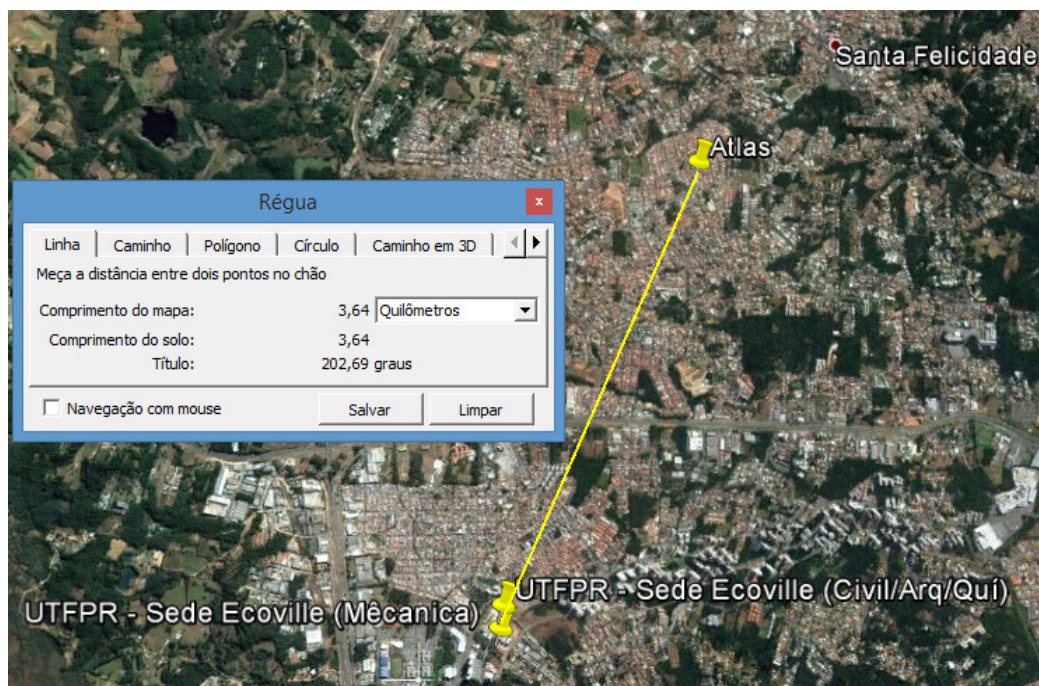


Figura 81 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Ecoville
 Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

Na Tabela 12 são mostrados os dados de irradiação solar para o plano horizontal para o referido ponto mais próximo mapeado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Tabela 12 – Dados de Irradiação Global da Sede Ecoville

IRRADIAÇÃO GLOBAL (ATLAS) - kWh/m ² .dia														
LONG	LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
-49,18	-25,24	5,69	5,48	5,09	4,11	3,38	3,07	3,36	4,18	4,29	5,06	5,88	5,97	4,63

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, (2016).

Conforme dados apresentados na Tabela 12, os valores diários médios máximos e mínimos para irradiação global da sede Ecoville são de 3,07 e 5,97

kWh/m².dia para os meses de Junho e Dezembro respectivamente, e o valor médio anual é de 4,63 kWh/m².dia.

Para a determinação do potencial fotovoltaico, em termos de potência instalada e energia elétrica a ser produzida, foram aplicados os valores históricos de irradiação solar, obtidos no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Contudo, os dados de irradiação solar registrados no INMET, serão aplicados na análise dos dias típicos.

4.2.3 Correção da Irradiação Solar – Plano Inclinado

Através do *software* Radiasol, é calculada a irradiação incidente no plano inclinado utilizando os dados de entrada de irradiação global horizontal do Atlas Brasileiro de Energia Solar para -25,24° e longitude -49,18°, conforme mostrado na Figura 82.



Figura 82 – Radiasol com Valores de Irradiação no Plano Horizontal da Sede Ecoville

Fonte: Acervo da Autora.

Então, obteve-se a correção da irradiação solar para o plano inclinado onde o ângulo de 19° e desvio azimutal de 50° para o leste resultou o melhor valor de irradiação anual, diferente das condições ideais, devido ao melhor aproveitamento das áreas disponíveis respeitando o alinhamento predial, conforme valores apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de Irradiação no Plano Inclinado da Sede Ecoville

IRRADIAÇÃO PLANO INCLINADO (RADIASOL) - kWh/m ² .dia														
ÂNG.	D. AZI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
19°	50° (L)	5,67	5,51	5,23	4,32	3,62	3,35	3,67	4,47	4,44	5,13	5,86	5,93	4,77

Fonte: A autora.

De acordo com os resultados obtidos com a aplicação do software Radiasol (Tabela 13), nota-se que os meses de menor e maior irradiação para o plano inclinado são nos meses de Junho e Dezembro, resultando em 3,35 kWh/m².dia e 5,93 kWh/m².dia respectivamente. O valor de irradiação anual encontrado para o ângulo simulado foi de 4,77 kWh/m².dia, e este será utilizado para estimar o valor de geração média conforme projeto proposto de um SFVCR para a sede Ecoville.

4.2.4 Análise das Coberturas da Sede Ecoville

A sede Ecoville, como mencionado no capítulo 3, ocupa dois terrenos com área total de 59.000 m² e com 24.500 m² de área construída (Figura 83). Apesar de esta sede apresentar pouco adensamento construtivo em seu entorno e vegetação, optou-se pela análise o sombreamento que eventualmente pode ocorrer em seus blocos, evitando perdas na geração de energia com alocação de painéis FV nestas áreas identificadas.

A partir do levantamento realizado *in loco* identificou-se a presença de um edifício que projeta sombra no terreno da sede Ecoville. Esta edificação (edifício Poème Ecoville) esta localizada na Rua Ângelo Nabosne, nº 75 apresentando 18 andares mais um hall de pé direito duplo e casa de máquinas e caixa d'água com altura de aproximadamente 2 andares.



Figura 83 – Vista da Sede Ecoville e Seu Entorno Construtivo em 3D
Fonte: Google Earth Pro (2016).

De acordo com a Figura 83 nota-se que uma parte do estacionamento desta sede é sombreada por edificação adjacente e como esta área é localizada em um bairro da cidade com potencial de surgirem novas construções é recomendável o estudo do sombreamento que pode existir nas adjacências, a fim de evitar a alocação de módulos FV nestas áreas afetadas.

Entretanto, conforme objetivo do presente estudo, não foi considerado o estudo do comportamento de possíveis sombras projetadas por esta edificação adjacente referida, devido a sua distância não atingir as áreas analisadas, conforme Figura 83, visto que apresenta mais de 100 m de distância dos blocos considerados para esta análise (medição efetuada através do *software Google Earth Pro*).

A seguir é mostrada a simulação de sombreamento mediante aplicação do *software Sketch Up*, nos horários estabelecidos anteriormente conforme Figura 84.

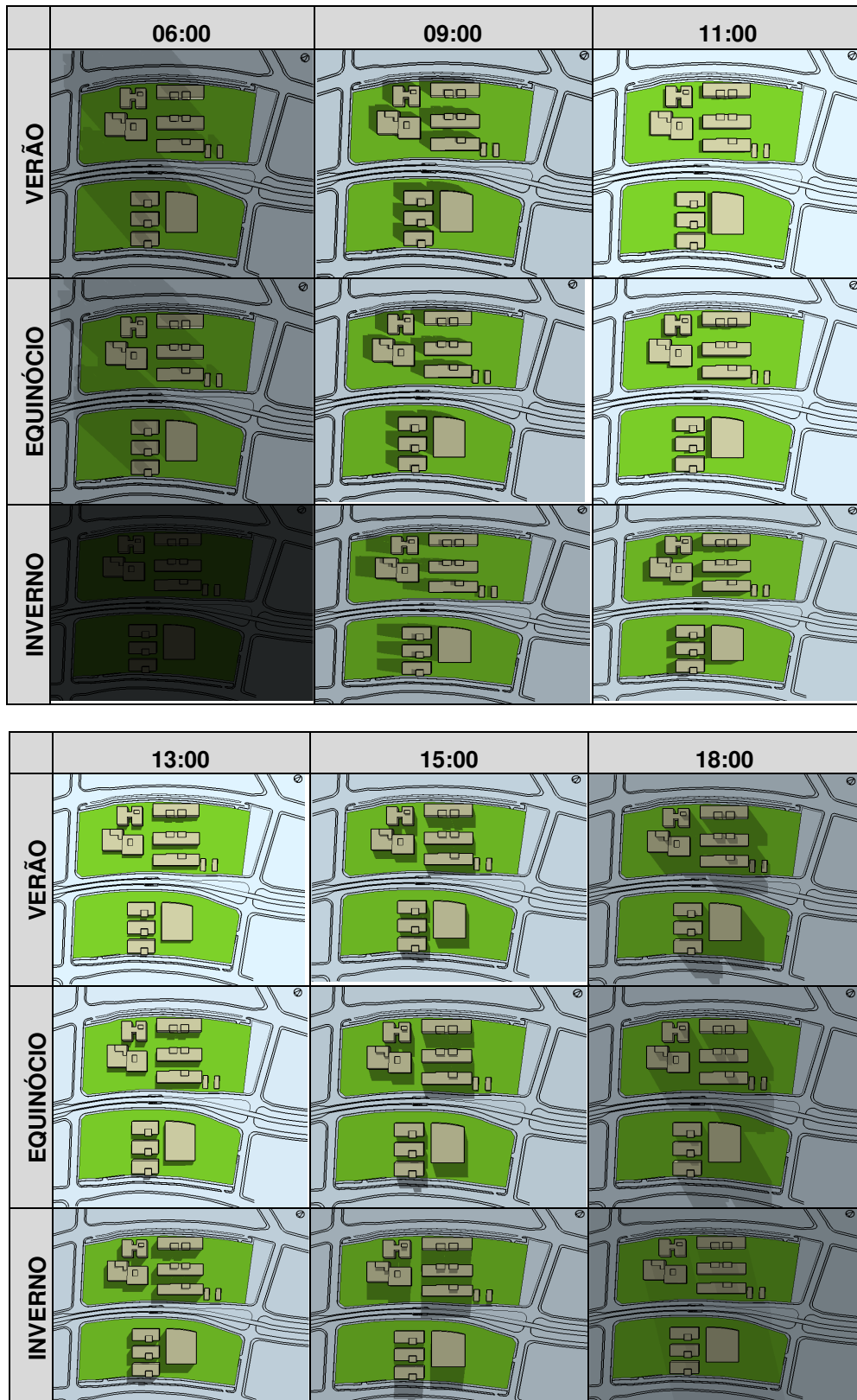


Figura 84 – Análise de Sombreamento da Sede Ecoville
 Fonte: Acervo da Autora.

A partir da análise de sombreamento realizada, nota-se que não há existência de sombras entre os blocos nem por edificações adjacentes, assim identificou-se que os blocos mais adequados para a aplicação de módulos fotovoltaicos sendo: A, B, C, F, E, J para a quadra da Engenharia Civil, Arquitetura e Química. Para a quadra da Engenharia Mecânica identificou-se os blocos L, M e N, conforme indicados na Figura 85, pois estes apresentam suas coberturas com pouca inclinação e sem sombreamento por edificações adjacentes ou vegetações.

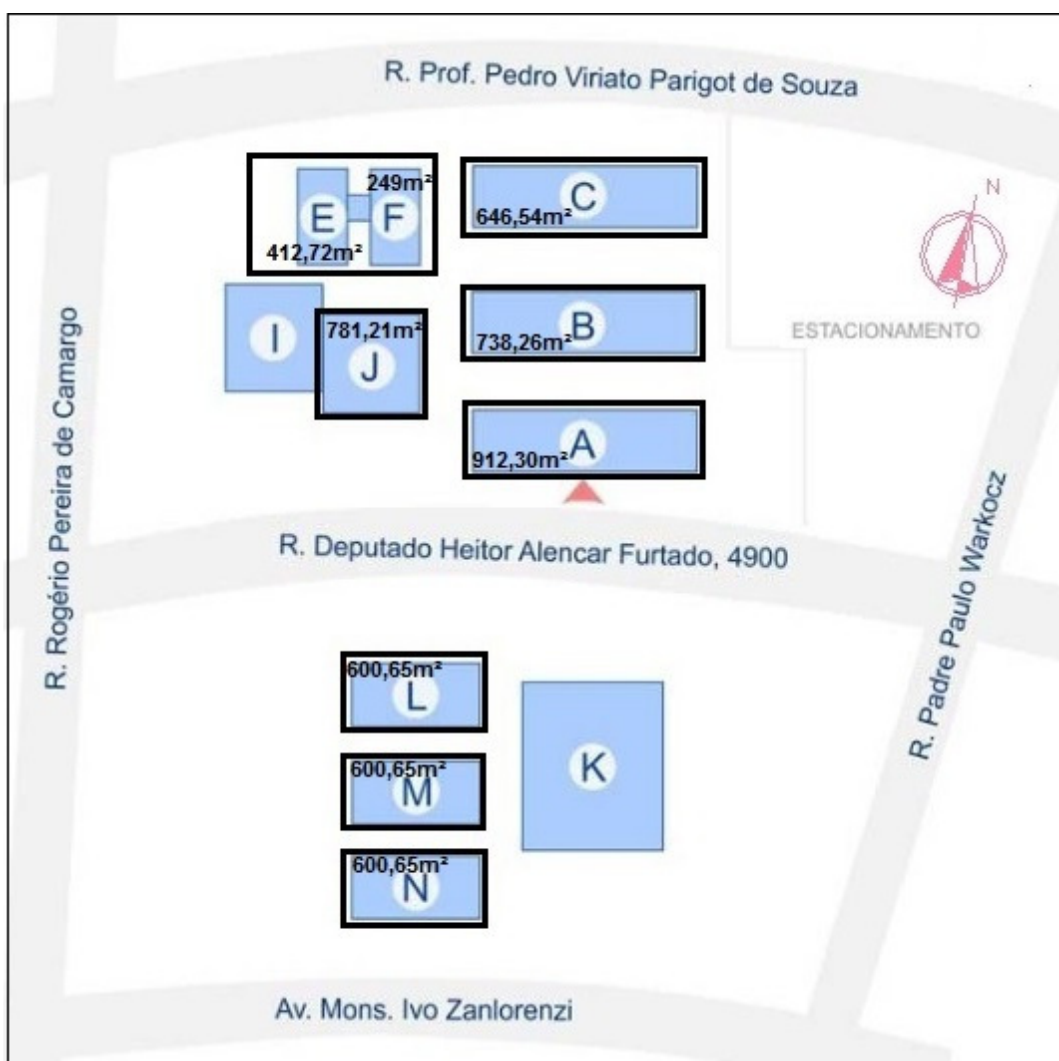


Figura 85 – Áreas de Coberturas Selecionadas da Sede Ecoville
 Fonte: Adaptado de UTFPR (2016).

A exclusão dos blocos I e K é justificada pelo motivo do primeiro apresentar a maioria de sua área destinada a terraço externo e diferente nível, sendo este bloco mais baixo quando comparado ao bloco J. Já o bloco K, apesar de apresentar uma grande área e livre de sombras, apresenta algumas caídas distintas de telhado e

uma clarabóia ocupando o centro do bloco, além da estrutura do telhado não apresentar condições apropriadas para a instalação dos módulos FV o que inviabilizaria sua alocação.

A área total dos blocos escolhidos para implantação do SFVCR, excluindo áreas ocupadas por caixas d'água, clarabóias e áreas sombreadas é de aproximadamente de 3.740 m², para a quadra da Engenharia Civil, Arquitetura e Química. Para a quadra da Engenharia Mecânica a área total é de aproximadamente de 1.800 m², onde as medições foram efetuadas por meio da análise das plantas baixas da instituição disponibilizadas pelo DEPRO, apontadas na Figura 85 para cada bloco escolhido. Dessa forma, estas áreas podem ser aproveitadas para a implantação de dois SFVCR na sede Ecoville e seu valor utilizado nas etapas seguintes.

4.2.5 Projeto do SFVCR para a Sede Ecoville – Civil, Arquitetura e Química

Adotando-se os mesmos critérios para dimensionamento da sede Centro, porém considerando uma inclinação dos módulos de 19° (a projeção do módulo de 1,80 m), e utilizando o mesmo módulo da Hareon Solar (330 Wp), obteve-se a distância de 1,27 m, conforme aplicação da Equação 8.

$$d = 2 \times (\text{sen}19^\circ \times 1,952 - 0)$$

$$d = 2 \times (0,64 - 0) = 1,27m$$

Assim, área total calculada para sua alocação (incluindo o fator de espaçamento de 1,27 m somado a área de projeção do módulo de 1,80 m) resultou no valor de 3,07 m². Com isso aplicou-se a Equação 1.

$$N_{\text{mód}} = \frac{3.740m^2}{3,07m^2}$$

$$N_{\text{mód}} = 1.218$$

Aplicando-se as áreas na Equação 1, obteve-se o número de módulos igual a 1.218. Com a quantidade de módulos é possível calcular a potência do gerador fotovoltaico aplicando-se a Equação 2.

$$P_{FV} = 330 \times 1.218$$

$$P_{FV} = 401,94 \text{ kWp}$$

A partir da área disponível e da quantidade de módulos, obteve-se uma potência instalada de 401,94 kWp. Logo, com o valor da potência instalada, irradiação média anual obtida no programa Radiasol e *Performance Ratio* de 0,75 é possível estimar, através da Equação 3, os valores de geração média de energia elétrica mensal e anual descritos em MWh na Tabela 14.

$$E = \frac{401,94 \times 4,77 \times 0,75}{1}$$

$$E = 1.437,94 \text{ kWh / dia}$$

Tabela 14 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
52,99	46,51	48,87	39,07	33,83	30,30	34,30	41,77	40,15	47,94	53,00	55,42	524,85

Fonte: A autora.

Nota-se o que o valor estimado de energia diária é de 1.437,94 kWh/dia, enquanto que o os valor total anual a ser produzido pelo SFVCR é de 524,85 MWh/ano. A análise proposta possibilitou a determinação do potencial para geração fotovoltaica da quadra da Engenharia Civil, Arquitetura e Química da sede Ecoville da UTFPR. Baseado nesses resultados, é proposto um projeto de um SFVCR para esta sede, aplicando-se os valores de irradiação horários registrados pelo INMET para os dias elencados, visto que não há nenhum sistemas instalado nesta sede.

4.2.6 Consumo de Energia - Civil, Arquitetura e Química

Os dados de consumo de energia da sede Ecoville da UTFPR, para análise dos blocos da Engenharia Civil, Arquitetura e Química conforme descrito no capítulo anterior, foram coletados mediante acesso à plataforma CAS Hemera da Copel, de acordo com os dias críticos elencados para o presente estudo. Com relação à

energia fotogerada calculada, considerou-se um projeto de um SFVCR baseado nas áreas disponíveis para alocação dos módulos FV.

Na Tabela 15 são mostrados os dados de consumo destes blocos, bem como o total de energia fotogerada considerando a irradiação solar instantânea obtida no INMET e a potência do SFVCR projetado e os respectivos percentuais de redução energéticos para os dias elencados para a análise.

Tabela 15 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)

Data	Consumo Diário Total (kWh)	Total de Energia Fotogerada (kWh)	Percentual de Redução (%)
22/03/2016	13.064	457	3,5%
17/03/2016	13.173	1.601	12,2%
28/03/2016	11.853	2.030	17,1%
20/06/2016	13.828	211	1,5%
15/06/2016	13.974	1.155	8,3%
07/06/2016	13.723	1.175	8,6%

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 15, o mês de Março apresentou maior potencial de redução de energia, devido à maior disponibilidade de irradiação solar. Contudo, os blocos analisados apresentaram elevado consumo de energia equivalente para os dias selecionados, devido à quantidade maior de blocos desta sede.

4.2.7 Demanda de Energia – Civil, Arquitetura e Química

A seguir são mostradas as novas curvas de demanda de energia da sede Ecoville (blocos da Engenharia Civil, Arquitetura e Química) da UTFPR, calculadas a partir da potência que um SFVCR com 401,94 kWp poderá produzir de hora em hora nos dias elencados de acordo com o perfil de consumo da sede.

Na Figura 86 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Março (22/03/2016). Observa-se que não houve redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, pois o pico de demanda de 755 kW registrado as 19:00 (Figura 43) permaneceu no mesmo horário, e no mesmo valor

de demanda de 755 kW, instante em que não há mais a contribuição do gerador fotovoltaico.

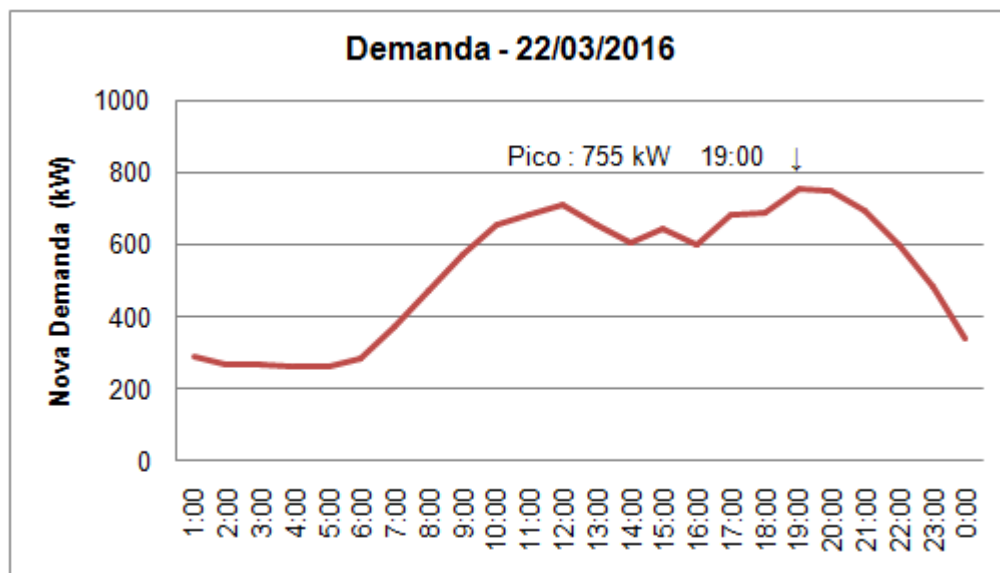


Figura 86 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Março - Civil/Arq/Quí)
Fonte: A autora.

No entanto, quando compara-se o gráfico de demanda fornecida (Figura 43) com o gráfico de nova curva de demanda nota-se que ocorreu alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia, principalmente no período das 12:00 as 17:00.

Na Figura 87 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Março (17/03/2016).

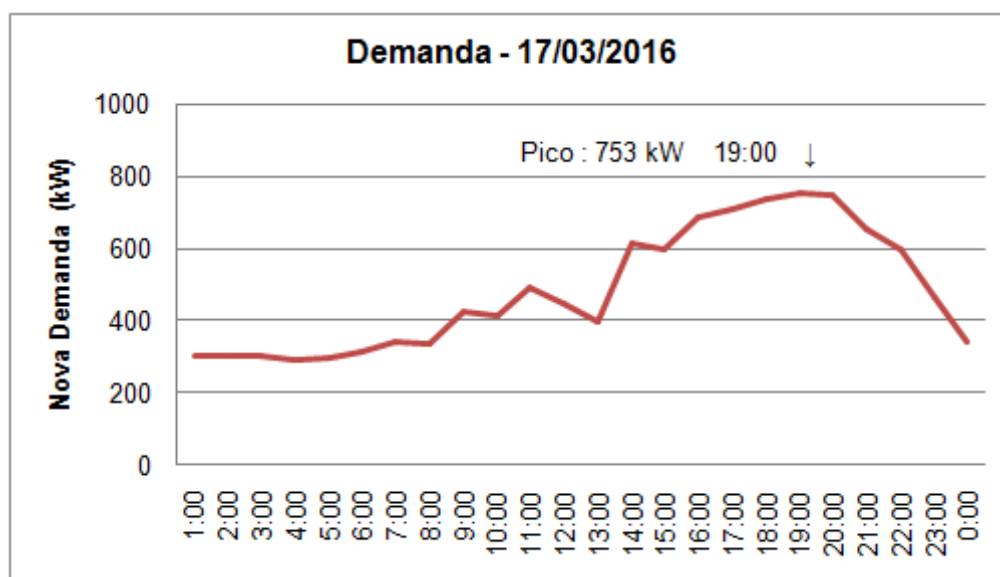


Figura 87 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Civil/Arq/Qui)
Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Março, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 87, mostrando que o pico de demanda de 819 kW que ocorreu as 16:00 (Figura 44), poderá ser deslocado para as 19:00 e reduzido para 753 kW, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 88 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Março (28/03/2016).

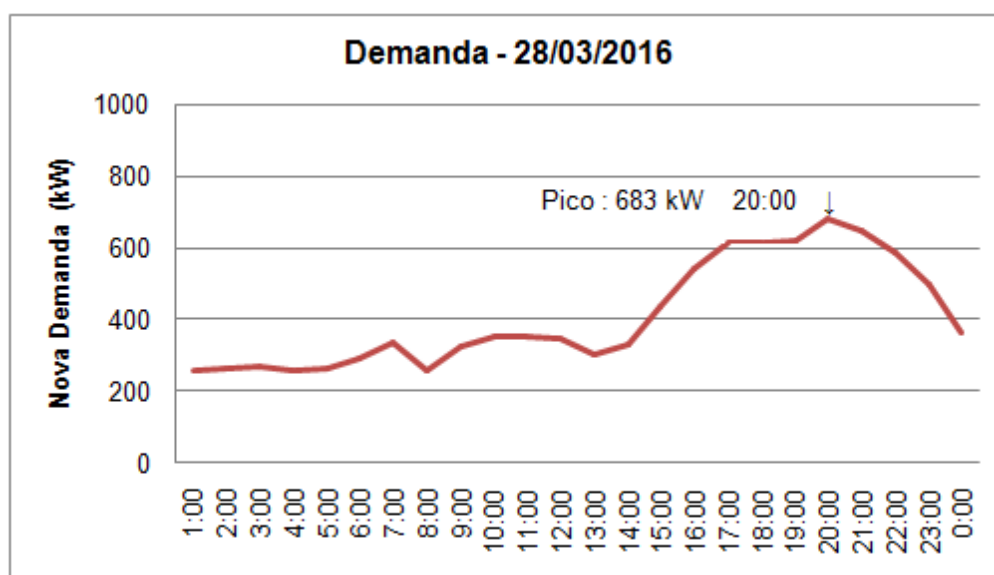


Figura 88 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Civil/Arq/Qui)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Março, em que o pico de demanda foi de 692 kW as 16:00 (Figura 45), obteve-se a redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 88. Observa-se o pico da demanda é deslocado para as 20:00 e sua demanda reduzida para 683 kW, além disso apresentou alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia, principalmente no período 7:00 as 15:00.

A seguir são apresentadas as análises para os dias elencados de Junho, considerando irradiação mínima, típica e máxima. Na Figura 89 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Junho (20/06/2016).

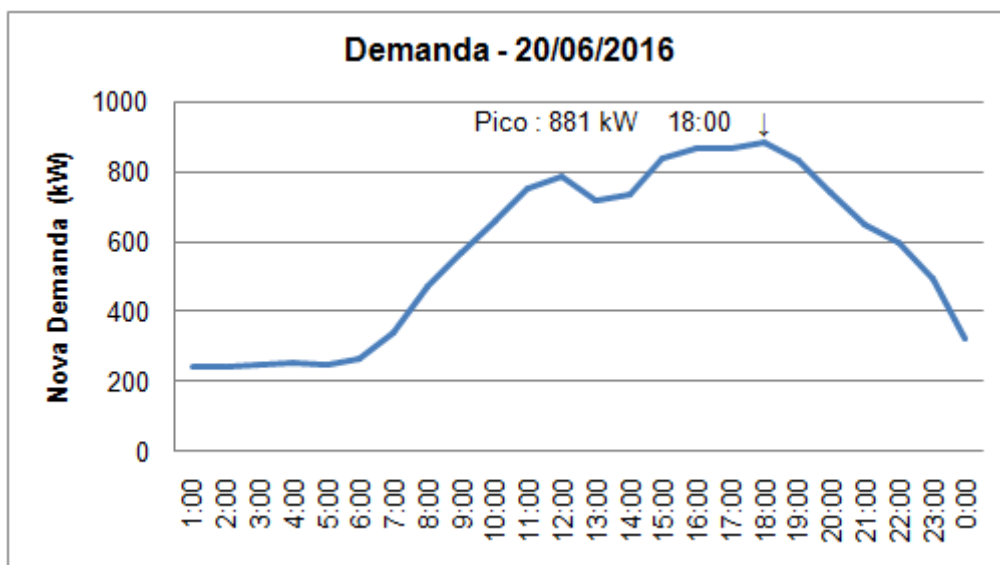


Figura 89 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Civil/Arq/Quí)
 Fonte: A autora.

A análise do dia de irradiação mínima de Junho, mostrou que o pico de demanda de 881 kW permaneceu as 18:00 (Figura 46), logo, não obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 89. Devido a baixo nível de irradiação solar neste dia, o comportamento permaneceu praticamente inalterado.

Na Figura 90 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Junho (15/06/2016).

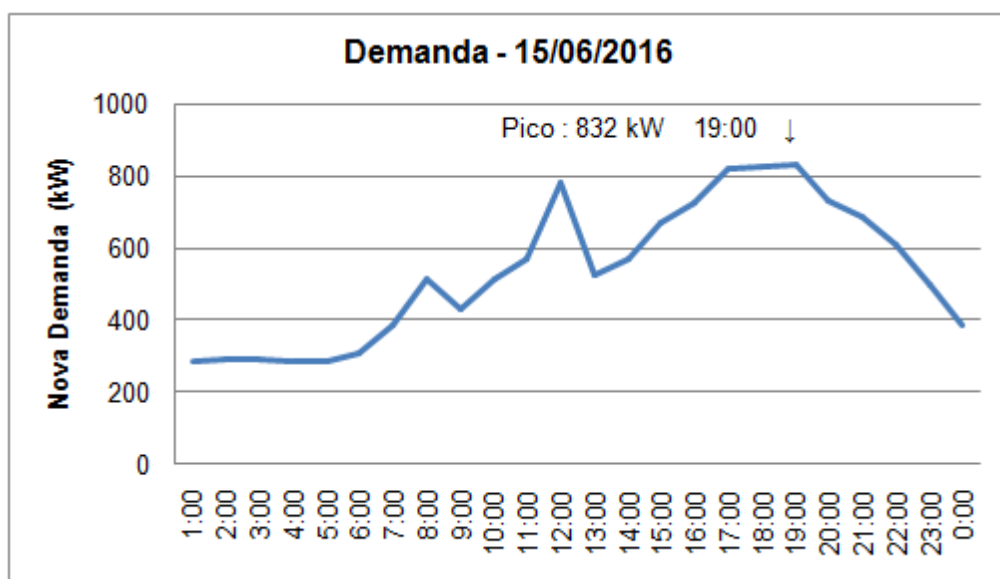


Figura 90 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Civil/Arq/Quí)
Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Junho, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 90, mostrando que o pico de demanda de 838 kW que ocorreu as 17:00 (Figura 47), poderá ser deslocado para as 19:00 e reduzido para 832 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 91 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Junho (07/06/2016).

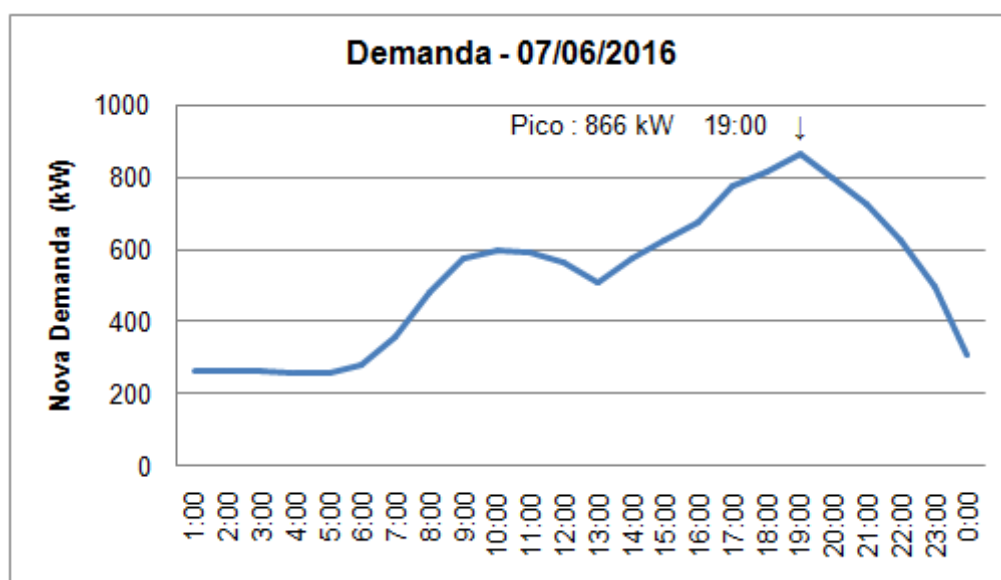


Figura 91 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Civil/Arq/Quí)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Junho, em que o pico de demanda foi de 866 kW as 19:00 (Figura 48), não obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 91. Observa-se o pico da demanda continua existindo as 19:00, instante em que não há mais a contribuição do gerador fotovoltaico, embora haja alteração no comportamento da demanda ao longo do dia, principalmente no período das 10:00 as 14:00.

A análise detalhada do percentual de redução do consumo energético e o cálculo do aumento da capacidade disponível da rede elétrica quando considerado o

projeto do SFVCR para os blocos da Engenharia Civil, Arquitetura e Química é feita a seguir.

4.2.8 Análise da Contribuição Energética

Conforme descrito no capítulo anterior, pode-se estimar os níveis de redução energético aplicando-se parâmetros de análise através do cálculo do Nível de Penetração Energético (NPE) e Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC). Neste sentido, aplicou-se a Equação 5 para o cálculo do NPE das blocos da Engenharia Civil, Arquitetura e Química (Ecoville) da UTFPR. A energia total consumida nesta sede no ano de 2016 foi de 3.602,68 MWh e a energia gerada por um SFVCR instalado de 401,94 kWp, seria de 524,85 MWh (Tabela 14), portanto:

$$NPE = \frac{524,85}{3.602,68} \times 100 \qquad NPE = 14,57\%$$

Logo, a partir da aplicação desta equação obteve-se um NPE de 14,57% de redução de energia elétrica com a implantação de um SFVCR de 401,94 kWp.

Para análise dos dias escolhidos no que se refere à redução dos picos de demanda, utilizou-se a Equação 7 e seus resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Cálculo do FECC Para a Sede Ecoville (Civil-Arq-Quí)

FATOR EFETIVO DE CAPACIDADE DE CARGA (401,94 kWp)			
DIA	DEMANDA	NOVA DEMANDA	FECC (%)
22/03/2016	755	755	0,0
17/03/2016	819	753	16,4
28/03/2016	692	683	2,2
20/06/2016	881	881	0,0
15/06/2016	838	832	1,5
07/06/2016	866	866	0,0

Fonte: A autora.

De acordo com os dados apresentados, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda ocorre no dia 17/03/2016, resultando em um FECC de 16,4%. Entretanto, no dias 22/03/2016, 20/06/2017 e 07/06/2016 a redução de pico de

demanda foi nula, devido ao pico ocorrer no horário em que o SFVCR projetado não apresenta mais contribuição energética, pois a sede analisada apresentou perfil de demanda noturna neste dia.

4.2.9 Projeto do SFVCR para a Sede Ecoville – Bloco da Engenharia Mecânica

Adotando-se os mesmos critérios para dimensionamento da sede Ecoville (Mecânica), em que se utilizou o módulo da Hareon Solar (330 Wp) e a área total calculada para sua alocação (incluindo o fator de espaçamento) de 3,07 m², aplicou-se a Equação 1.

$$N_{mód} = \frac{1.800m^2}{3,07m^2} \qquad N_{mód} = 586$$

Aplicando-se as áreas na Equação 1, obteve-se o número de módulos igual a 586. Com a quantidade de módulos é possível calcular a potência do gerador fotovoltaico aplicando-se a Equação 2.

$$P_{FV} = 330 \times 586 \qquad P_{FV} = 193,38kWp$$

A partir da área disponível e da quantidade de módulos, obteve-se uma potência instalada de 193,38 kWp. Logo, com o valor da potência instalada, irradiação média anual obtida no programa Radiasol e *Performance Ratio* de 0,75 é possível estimar, através da Equação 3, os valores de geração média de energia elétrica mensal e anual descritos em MWh na Tabela 17.

$$E = \frac{193,38 \times 4,77 \times 0,75}{1} \qquad E = 691,82kWh / dia$$

Tabela 17 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Ecoville (Mecânica)

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
25,49	22,38	23,51	18,80	16,28	14,58	16,50	20,10	19,32	23,06	25,50	26,66	252,51

Fonte: A autora.

Nota-se o que o valor estimado de energia diária é de 691,82 kWh/dia, enquanto que o os valor total anual a ser produzido pelo SFVCR é de 252,51 MWh/ano. A análise proposta possibilitou a determinação do potencial para geração fotovoltaica da quadra da Engenharia Mecânica da sede Ecoville da UTFPR. Baseado nesses resultados, é proposto um projeto de um SFVCR para esta sede, aplicando-se os valores de irradiação horários registrados pelo INMET para os dias elencados, visto que não há nenhum sistema instalado nesta sede.

4.2.10 Consumo de Energia – Bloco da Engenharia Mecânica

Os dados de consumo de energia da sede Ecoville da UTFPR, para análise dos blocos da Engenharia Mecânica, conforme descrito no capítulo anterior, foram coletados mediante acesso à plataforma CAS Hemera da Copel, de acordo com os dias críticos elencados para o presente estudo. Com relação à energia fotogerada calculada, considerou-se um projeto de um SFVCR baseado nas áreas disponíveis para alocação dos módulos FV.

Na Tabela 18 são mostrados os dados de consumo destes blocos, bem como o total de energia fotogerada considerando a irradiação solar instantânea obtida no INMET e a potência do SFVCR projetado e os respectivos percentuais de redução energéticos para os dias elencados para a análise.

Tabela 18 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Ecoville (Mecânica)

Data	Consumo Diário Total (kWh)	Total de Energia Fotogerada (kWh)	Percentual de Redução (%)
22/03/2016	2.677	220	8,2%
17/03/2016	2.214	770	34,8%
28/03/2016	2.132	976	45,8%
20/06/2016	2.976	101	3,4%
15/06/2016	3.024	555	18,4%
07/06/2016	2.560	565	22,1%

Fonte: A autora.

Nota-se que quanto maior disponibilidade de irradiação solar tanto para o mês de Março quanto para o mês de Junho, o total de energia fotogerada calculada resultará em valores diretamente proporcionais à irradiação solar.

4.2.11 Demanda de Energia – Bloco da Engenharia Mecânica

A seguir são mostradas as novas curvas de demanda de energia da sede Ecovile (blocos da Engenharia Mecânica) da UTFPR, calculadas a partir da potência que um SFVCR com 193,38 kWp poderá produzir de hora em hora nos dias elencados de acordo com o perfil de consumo da sede. Na Figura 92 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Março (22/03/2016).

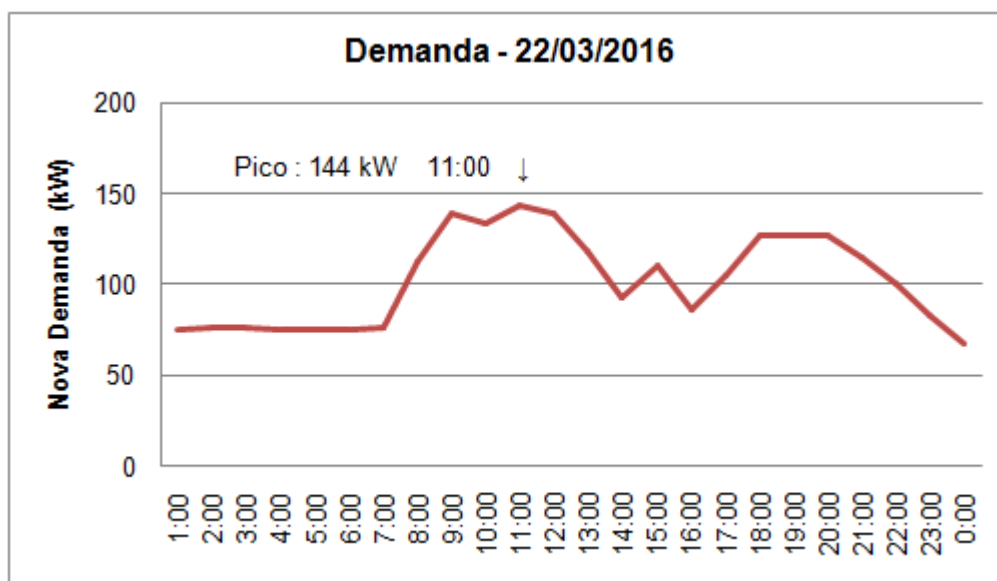


Figura 92 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima – Março - Mecânica)
Fonte: A autora.

Na Figura 92, é mostrada a nova curva de demanda, onde o pico de demanda de 156 kW que ocorreu as 15:00 (Figura 49), pode ser deslocado para as 11:00 e reduzido para 144 kW, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 93 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Março (17/03/2016).

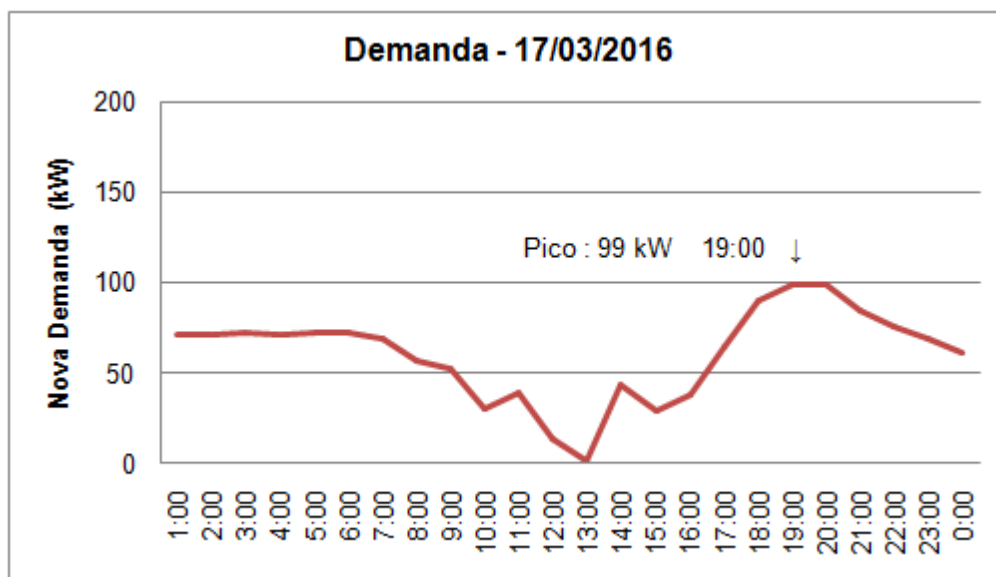


Figura 93 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Mecânica)
 Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Março, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 93, mostrando que o pico de demanda de 131 kW que ocorreu às 11:00 (Figura 50), poderá ser deslocado para as 19:00 e reduzido para 99 kW, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 94 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Março (28/03/2016).

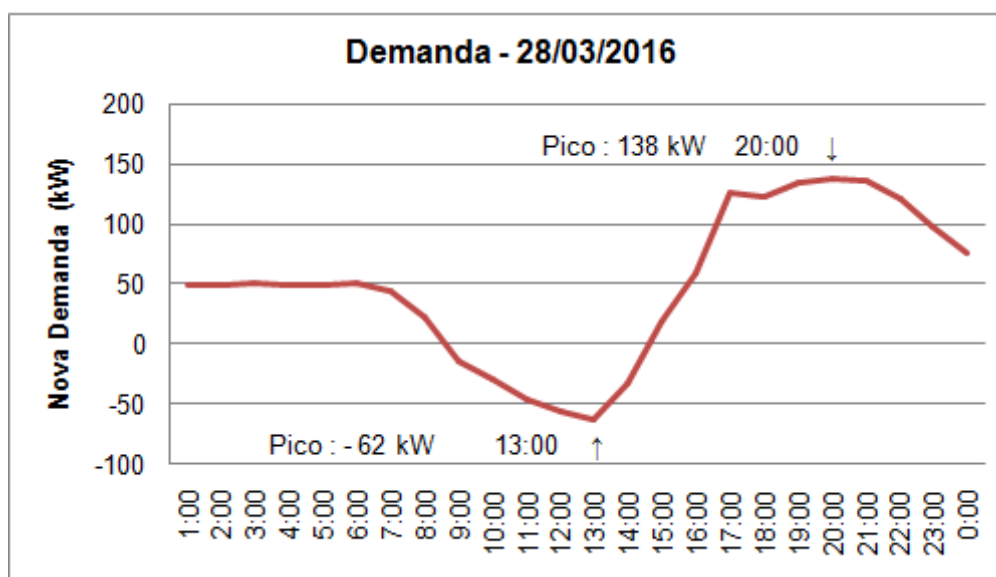


Figura 94 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Mecânica)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Março, em que o pico de demanda foi de 162 kW as 17:00 (Figura 51), obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 94. Observa-se o pico da demanda é deslocado para as 20:00 e reduzido para 138 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia. Além do mais, no período das 9:00 as 14:00 poderá ocorrer a injeção do excedente de energia na rede elétrica local, atingindo seu ponto máximo de injeção as 13:00 alcançando uma potência de 62 kW.

A seguir são apresentadas as análises para os dias elencados de Julho, considerando irradiação mínima, típica e máxima. Na Figura 95 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Julho (20/06/2016).

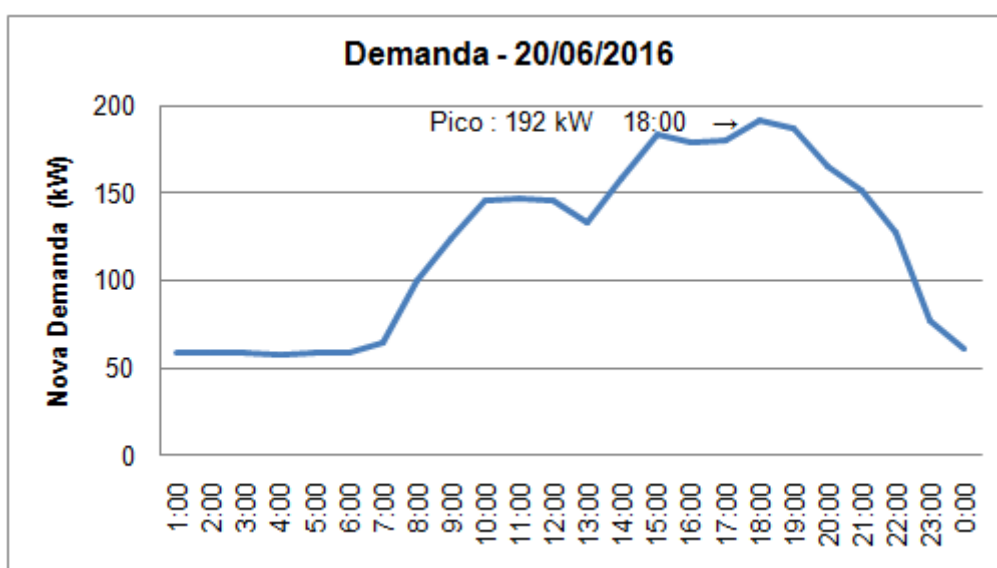


Figura 95 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Mecânica)
Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 95 observa-se que o pico de demanda de 193 kW que ocorreu as 15:00 (Figura 52), poderá ser reduzido para 192 kW sendo deslocado para as 18:00, havendo alteração no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 96 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Junho (15/06/2016).

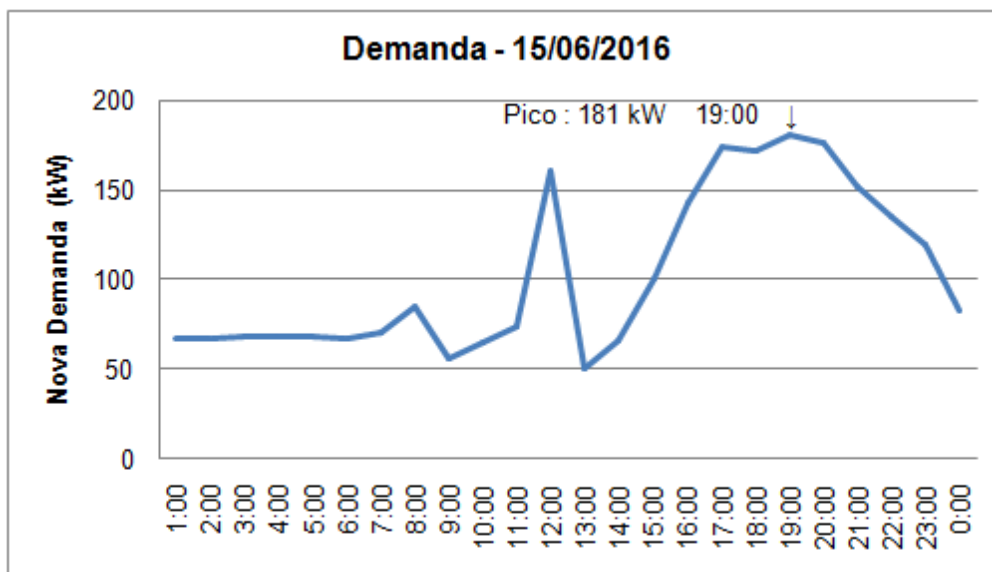


Figura 96 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Mecânica)
Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Junho, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 96, mostrando que o pico de demanda de 183 kW que ocorreu as 17:00 (Figura 53), poderá ser deslocado para as 19:00 e reduzido para 181 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia.

Na Figura 97 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Junho (07/06/2016).

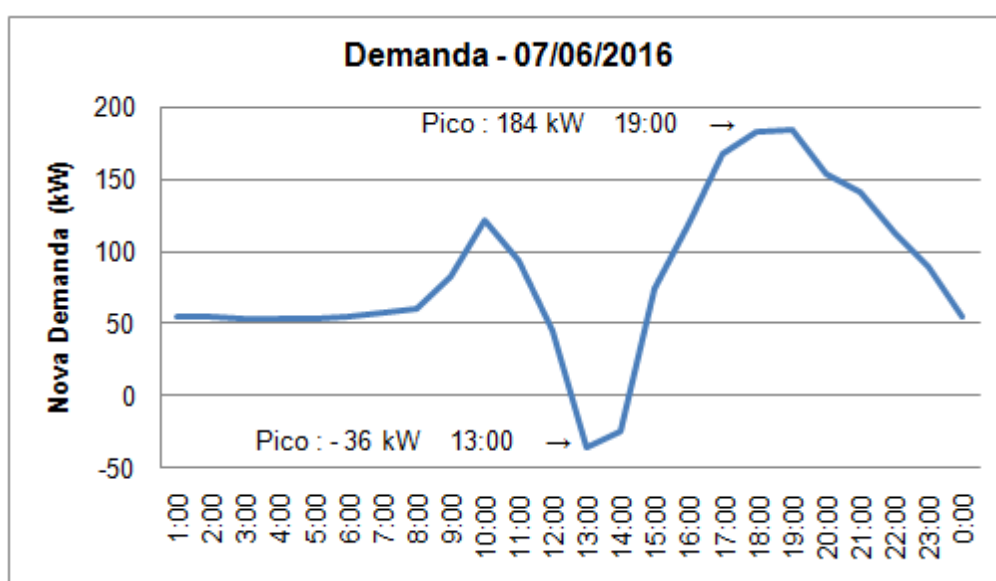


Figura 97 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Mecânica)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Junho, em que o pico de demanda foi de 184 kW as 19:00 (Figura 54), não obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 97. Observa-se o pico da demanda continua existindo as 19:00, instante em que não há mais a contribuição do gerador fotovoltaico, embora haja alteração no comportamento da demanda ao longo do dia. Além disso, no período das 13:00 as 14:00 poderá haver a injeção do excedente de energia na rede elétrica local, atingindo seu ponto máximo de injeção as 13:00 alcançando uma potência de 36 kW.

A análise detalhada do percentual de redução do consumo energético e o cálculo do aumento da capacidade disponível da rede elétrica quando considerado o projeto do SFVCR para os blocos da Engenharia Mecânica é feita a seguir.

4.2.12 Análise da Contribuição Energética

Conforme descrito no capítulo anterior, pode-se estimar os níveis de redução energético aplicando-se parâmetros de análise através do cálculo do Nível de Penetração Energético (NPE) e Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC). Neste sentido, aplicou-se a Equação 5 para o cálculo do NPE das blocos da Engenharia Mecânica (Ecoville) da UTFPR. A energia total consumida nesta sede no ano de 2016 foi de 1.000,61 MWh e a energia gerada por um SFVCR instalado de 193,38 kWp, seria de 252,51 MWh (Tabela 17), portanto:

$$NPE = \frac{252,51}{1.000,61} \times 100 \qquad NPE = 25,24\%$$

Logo, a partir da aplicação desta equação obteve-se um NPE de 25,24% de redução de energia elétrica com a implantação de um SFVCR de 193,38 kWp.

Para análise dos dias escolhidos no que se refere à redução dos picos de demanda, utilizou-se a Equação 7 e seus resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Cálculo do FECC Para a Sede Ecoville (Mecânica)

FATOR EFETIVO DE CAPACIDADE DE CARGA (193,38 kWp)			
DIA	DEMANDA	NOVA DEMANDA	FECC (%)
22/03/2016	156	144	6,5
17/03/2016	131	99	16,5
28/03/2016	162	138	12,4
20/06/2016	193	192	0,5
15/06/2016	183	181	1,0
07/06/2016	184	184	0,0

Fonte: A autora.

De acordo com os dados apresentados, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda ocorre no dia 17/03/2016, resultando em um FECC de 16,5%. Entretanto, no dia 07/06/2016 a redução de pico de demanda foi nula, devido ao pico ocorrer no horário em que o SFVCR projetado não apresenta mais contribuição energética, pois a sede analisada apresentou perfil de demanda noturna neste dia.

4.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DA SEDE NEOVILLE

4.3.1 Coordenadas Geográficas

Com auxílio do *software Google Earth Pro e Autocad* obteve-se os seguintes valores das coordenadas geográficas (latitude, longitude e desvio azimutal) de -25,50° (Sul), 49,32° (Oeste) e 35° (Oeste), respectivamente.

Embora esta sede esteja localizada com as coordenadas citadas, optou-se pela análise considerando a instalação do SFVCR nas condições ideais de operação, ou seja, a inclinação dos módulos fotovoltaicos a 25° e orientação para o norte geográfico de 0°, devido a sede Neville apresentar extenso espaço para aplicação destes sistemas.

Assim, identificaram-se os dados de irradiação solar horizontal no Atlas Brasileiro de Energia Solar, utilizando a base de dados de irradiação média inclinada mensal e anual, devido ao SFVCR existente na sede Neville estar instalado nas condições citadas, pois estabeleceu-se as mesmas características para a análise do cenário de ampliação do sistema existente.

4.3.2 Irradiação Solar

Os valores mais próximos referentes à longitude e latitude encontrados no Atlas Brasileiro de Energia Solar, para o plano inclinado, foram de $-49,18^\circ$ e $-25,33^\circ$ respectivamente, distanciando do local estudado aproximadamente de 5,5 km conforme Figura 98.

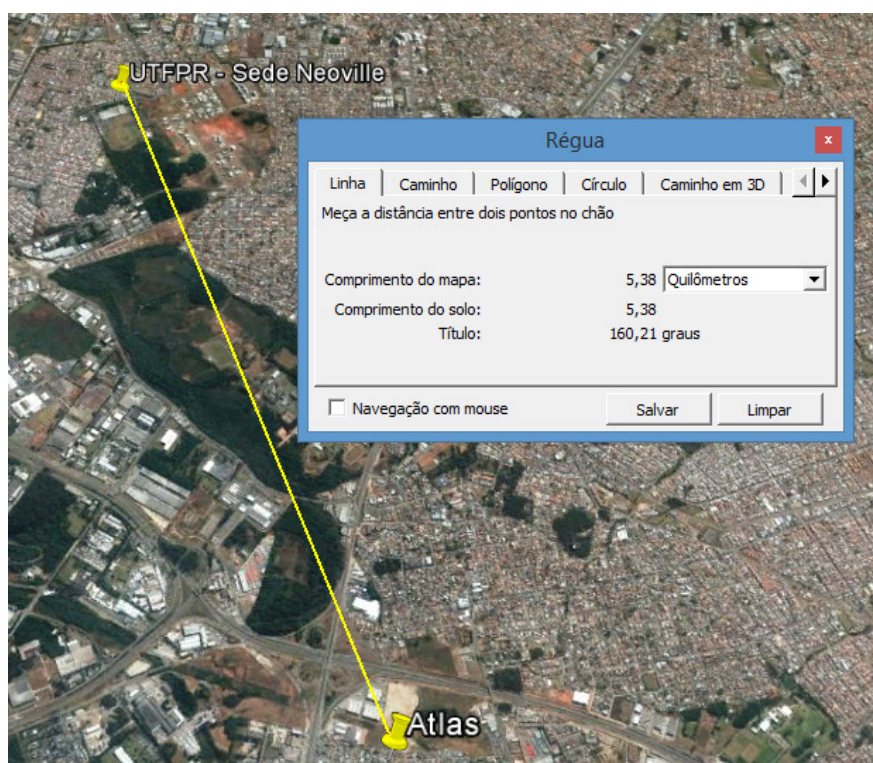


Figura 98 – Distância Entre o Ponto Mapeado no Atlas e a Sede Neville
Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

Na Tabela 20 são mostrados os dados de irradiação solar para o plano inclinado para o referido ponto mais próximo mapeado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Tabela 20 – Dados de Irradiação Global da Sede Neville

		IRRADIAÇÃO INCLINADA (ATLAS) - kWh/m ² .dia												
LONG	LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
-49,18	-25,33	5,14	5,33	5,58	4,92	4,48	4,48	4,26	5,31	4,93	5,00	5,48	5,17	4,98

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, (2016).

Conforme dados apresentados na Tabela 20, os valores diários médios máximos e mínimos para irradiação inclinada da sede Neville são de 4,26 e 5,48 kWh/m².dia para os meses de Julho e Novembro respectivamente, e o valor médio anual é de 4,98 kWh/m².dia.

Para a determinação do potencial fotovoltaico, em termos de potência instalada e energia elétrica a ser produzida, foram aplicados os valores históricos de irradiação solar para o plano inclinado, obtidos no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Contudo, os dados de irradiação solar registrados no INMET, serão aplicados na análise dos dias típicos.

4.3.3 Análise das Coberturas da Sede Neville

Conforme citado anteriormente, a sede Neville (Figura 99) conta com a maior área, ocupando 245.000 m² e uma área construída total de 31.000 m², inserido em um bairro em que se localizam as indústrias da cidade de Curitiba. Além de o local apresentar na sua maioria edificações residenciais térreas, e os blocos da sede Neville estarem situados afastados da rua, não há interferências de sombreamento das edificações adjacentes.

Neste caso, a análise de sombreamento foi utilizada para identificar o sombreamento que eventualmente pode ocorrer em seus blocos, evitando perdas na geração de energia com alocação de painéis FV nestas áreas identificadas.



Figura 99 – Vista da Sede Neville e Seu Entorno Construtivo em 3D
Fonte: Google Earth Pro (2016).

A seguir é mostrada a simulação de sombreamento mediante aplicação do *software Sketch Up*, nos horários estabelecidos anteriormente conforme Figura 100.

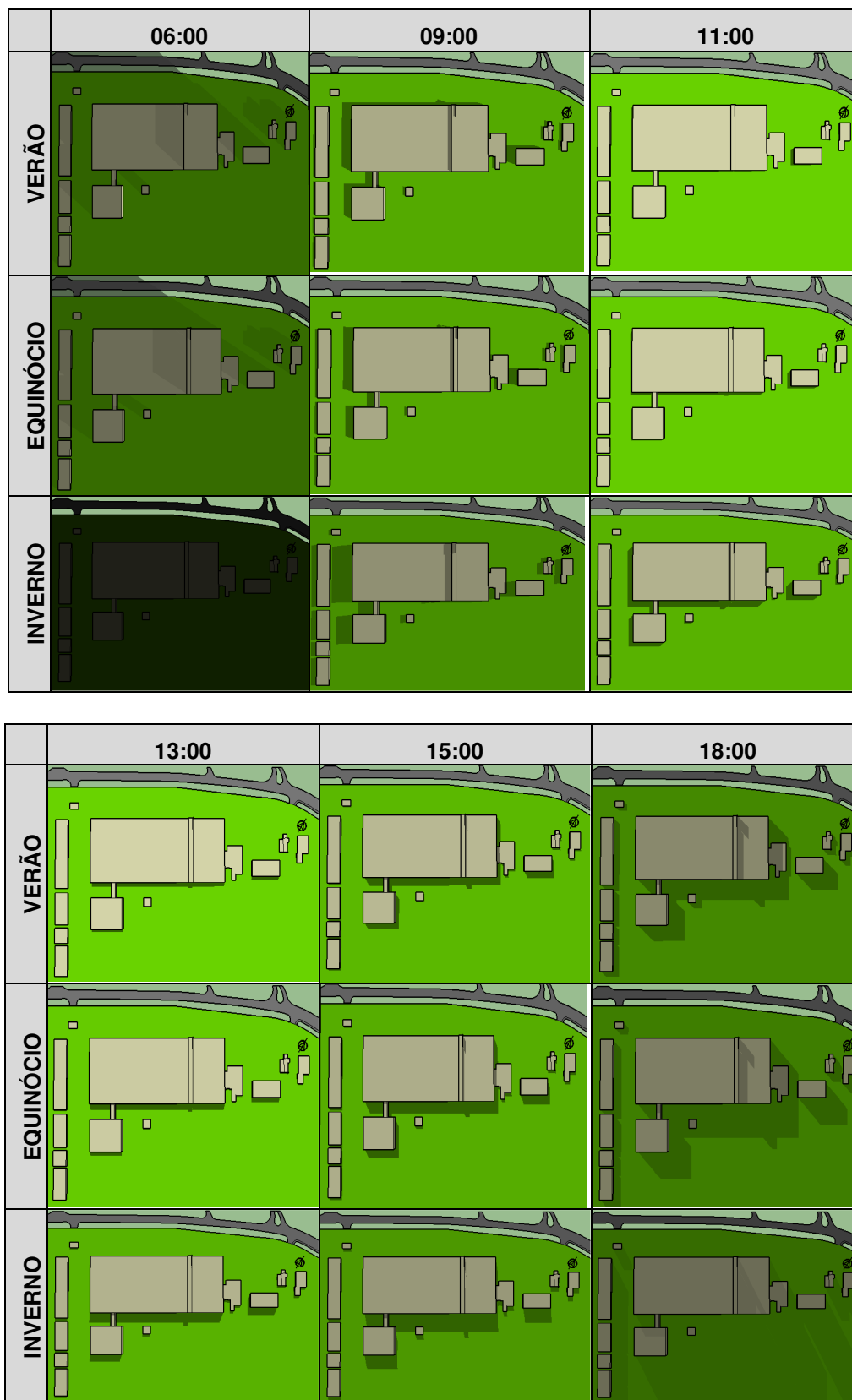


Figura 100 – Análise de Sombreamento da Sede Neville
 Fonte: Acervo da Autora.

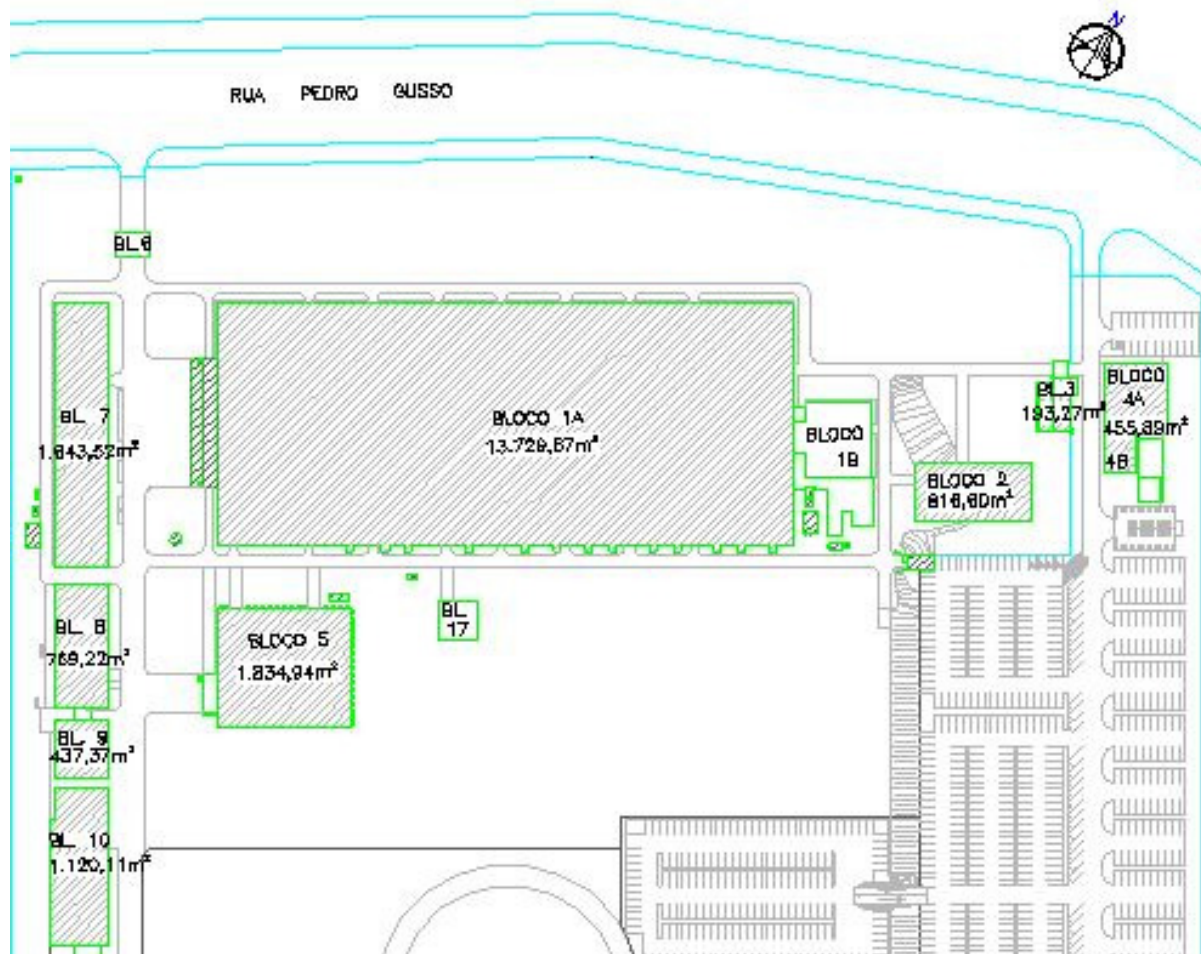


Figura 101 – Áreas de Coberturas Selecionadas da Sede Neville
 Fonte: Adaptado de UTFPR (2016).

A partir da análise de sombreamento realizada, identificaram-se os blocos mais adequados para a aplicação de módulos fotovoltaicos sendo: 1A, 2, 3, 4A e 4B, 5, 7, 8, 9 e 10 conforme indicados na Figura 101, pois estes apresentam suas coberturas com pouca inclinação e sem sombreamento por edificações adjacentes ou vegetações.

A partir da análise de sombreamento, identificou-se que os blocos 1B e 17 são afetados por sombras e que o bloco 6 trata-se de uma guarita, sendo estes excluídos para o estudo proposto.

Dessa forma, a área total dos blocos escolhidos para implantação do SFVCR, excluindo áreas ocupadas sombreadas é de aproximadamente de 21.000 m², onde as medições foram efetuadas por meio da análise das plantas baixas da instituição disponibilizadas pelo DEPRO, apontadas na Figura 101 para cada bloco escolhido. Dessa forma, estas áreas podem ser aproveitadas para a implantação de dois SFVCR na sede Neville e seu valor utilizado nas etapas seguintes.

4.3.4 Cenário de Ampliação do SFVCR Existente na Sede Neville

Adotando-se os mesmos critérios para dimensionamento da sede Centro, porém considerando uma inclinação dos módulos de 25° (a projeção do módulo de 1,80 m), e utilizando o mesmo módulo da Hareon Solar (330 Wp), obteve-se a distância de 1,65 m, conforme aplicação da Equação 8.

$$d = 2 \times (\text{sen } 25^\circ \times 1,952 - 0)$$

$$d = 2 \times (0,82 - 0) = 1,65\text{m}$$

Assim, área total calculada para sua alocação (incluindo o fator de espaçamento de 1,65 m somado a área de projeção do módulo de 1,80 m) resultou no valor de $3,45\text{ m}^2$. Com isso aplicou-se a Equação 1.

$$N_{\text{mód}} = \frac{21.000\text{m}^2}{3,45\text{m}^2}$$

$$N_{\text{mód}} = 6.086$$

Aplicando-se as áreas na Equação 1, obteve-se o número de módulos igual a 6.086. Com a quantidade de módulos é possível calcular a potência do gerador fotovoltaico aplicando-se a Equação 2.

$$P_{FV} = 330 \times 6.086$$

$$P_{FV} = 2.008,38\text{kWp}$$

A partir da área disponível e da quantidade de módulos, obteve-se uma potência instalada de 2.008,38 kWp. Logo, com o valor da potência instalada, irradiação média anual obtida no Atlas Brasileiro de Energia Solar para o plano inclinado e *Performance Ratio* de 0,75 é possível estimar, através da Equação 3, os valores de geração média de energia elétrica mensal e anual descritos em MWh na Tabela 21.

$$E = \frac{2.008,38 \times 4,98 \times 0,75}{1}$$

$$E = 7.501,30\text{kWh / dia}$$

Tabela 21 – Geração Média de Energia Mensal e Anual da Sede Neville

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (MWh)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
240,01	224,80	260,56	222,33	209,19	202,44	198,92	247,95	222,78	233,47	247,63	241,41	2.737,97

Fonte: A autora.

Nota-se o que o valor estimado de energia diária é de 7.501,30 kWh/dia, enquanto que o os valor total anual a ser produzido pelo SFVCR é de 2.737,97 MWh/ano. A análise proposta possibilitou a determinação do potencial para geração fotovoltaica da sede Neville da UTFPR, resultando em um sistema aproximadamente 196,9 vezes maior que o SFVCR existente. Com base nesse resultado, é proposto um cenário de ampliação do sistema existente na sede, extrapolando os valores de potência obtidos (196,9x) nos dias elencados para a análise.

4.3.5 Consumo de Energia

Os dados de consumo de energia da sede Neville da UTFPR, foram coletados mediante acesso à plataforma CAS Hemera da Copel, de acordo com os dias críticos elencados para o presente estudo. Com relação à energia fotogerada calculada, considerou-se um cenário de ampliação do SFVCR existente baseado nas áreas disponíveis para alocação dos módulos FV.

Na Tabela 22 são mostrados os dados de consumo desta sede, bem como o total de energia fotogerada considerando a potência instantânea do inversor do SFVCR instalado nesta sede e os respectivos percentuais de redução energéticos para os dias elencados para a análise, onde o mês de março apresentou maior potencial de redução de energia em geral, devido à maior disponibilidade de irradiação solar.

Tabela 22 – Consumo, Energia Fotogerada e Percentual de Redução da Sede Neville

Data	Consumo Diário Total (kWh)	Total de Energia Fotogerada (kWh)	Percentual de Redução (%)
22/03/2016	1.997	2.755	137,9%
17/03/2016	2.012	9.698	482,0%
28/03/2016	1.768	13.235	748,6%
20/06/2016	2.084	1.054	50,6%
15/06/2016	2.001	9.160	457,8%
07/06/2016	1.959	8.460	431,9%

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 22, os dias de irradiação típica de Março e Junho apresentam potencial de redução de energia equivalente, e devido a esta sede apresentar o menor consumo entre as sedes analisadas, mas a maior área disponível para ampliação do SFVCR existente, seus percentuais de redução se mostraram muito superiores, podendo exportar energia para a concessionária, gerando créditos para serem utilizados nas outras sedes da UTFPR – câmpus Curitiba.

4.3.6 Demanda de Energia

A seguir são mostradas as novas curvas de demanda de energia da sede Neville da UTFPR, calculadas a partir da potência que um SFVCR com 2.008,38 kWp poderá produzir de hora em hora nos dias elencados de acordo com o perfil de consumo da sede. Na Figura 102 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Março (22/03/2016).

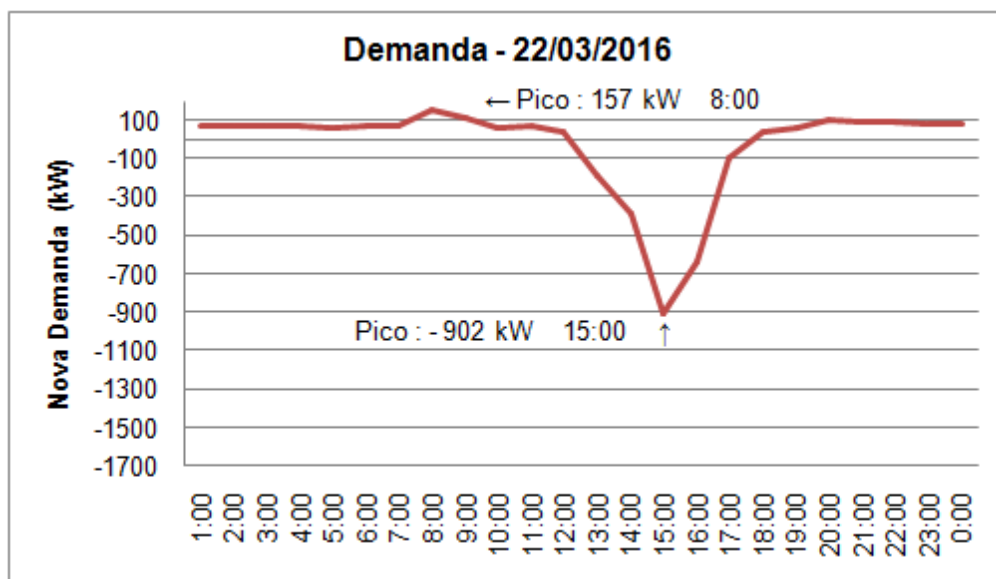


Figura 102 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Março - Neville)
Fonte: A autora.

Na Figura 102, observa-se que houve redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, pois o pico de demanda de 161 kW registrado às 08:00 (Figura 55) foi reduzido para 157 kW, porém permaneceu no mesmo horário. O comportamento da curva de demanda foi fortemente alterado, devido à potência considerada para a análise ser significativamente maior. Adicionalmente, nota-se que no período das 13:00 às 17:00 poderá haver injeção do excedente de energia na rede elétrica local, atingindo seu ponto máximo de injeção às 15:00 alcançando uma potência de 902 kW.

Na Figura 103 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Março (17/03/2016).

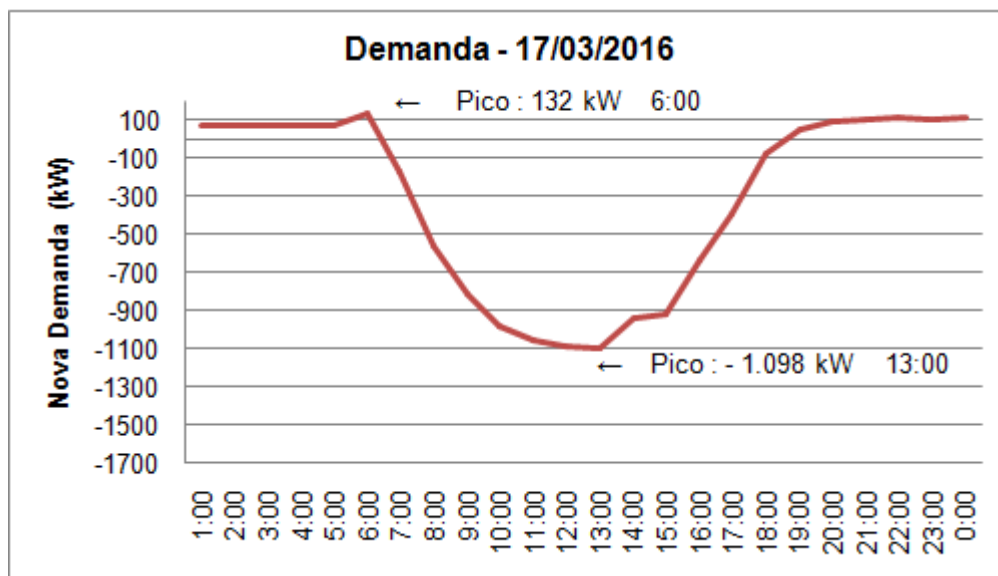


Figura 103 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Março - Neville)
 Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Março, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 103, mostrando que o pico de demanda de 145 kW que ocorreu às 06:00 (Figura 56), poderá ser reduzido para 132 kW, mas permanece no mesmo horário, resultando em uma considerável alteração no comportamento da demanda ao longo do dia. Também é observado a ocorrência de injeção de energia na rede elétrica local no período compreendido entre as 07:00 e as 18:00, atingindo seu ponto máximo de injeção às 13:00 alcançando uma potência de 1.098 kW.

Na Figura 104 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Março (28/03/2016).

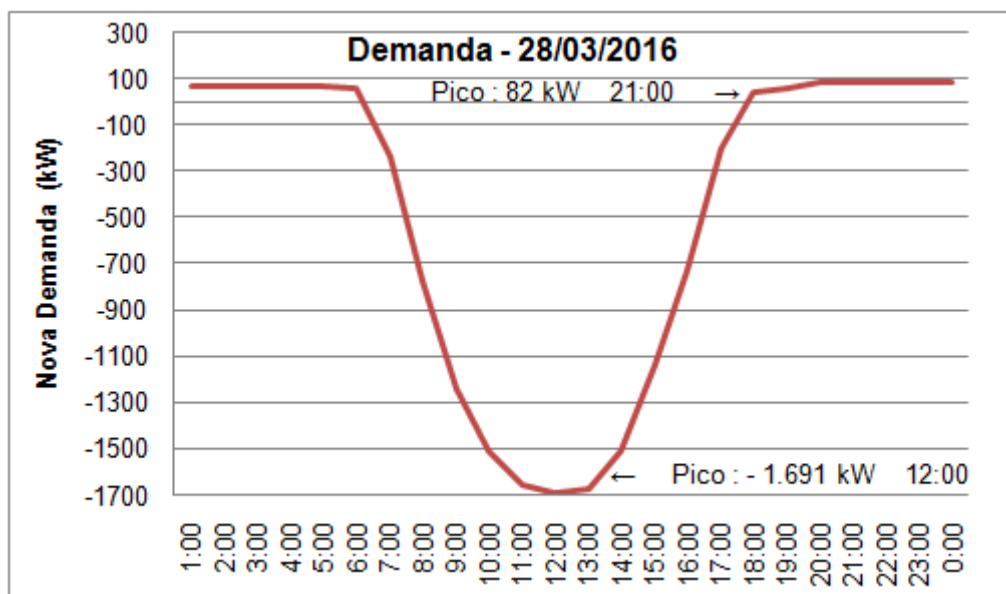


Figura 104 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Março - Neville)
 Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Março, em que o pico de demanda foi de 139 kW as 08:00 (Figura 57), obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 104. Observa-se o pico da demanda é deslocado para as 21:00 e reduzido para 82 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia. Além disso, é observado a ocorrência de injeção do excedente de energia na rede elétrica local no período compreendido entre as 07:00 as 17:00, atingindo seu ponto máximo de injeção as 12:00 alcançando uma potência de 1.598,55 kW.

A seguir são apresentadas as análises para os dias elencados de Junho, considerando irradiação mínima, típica e máxima. Na Figura 105 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação mínima de Junho (20/06/2016).

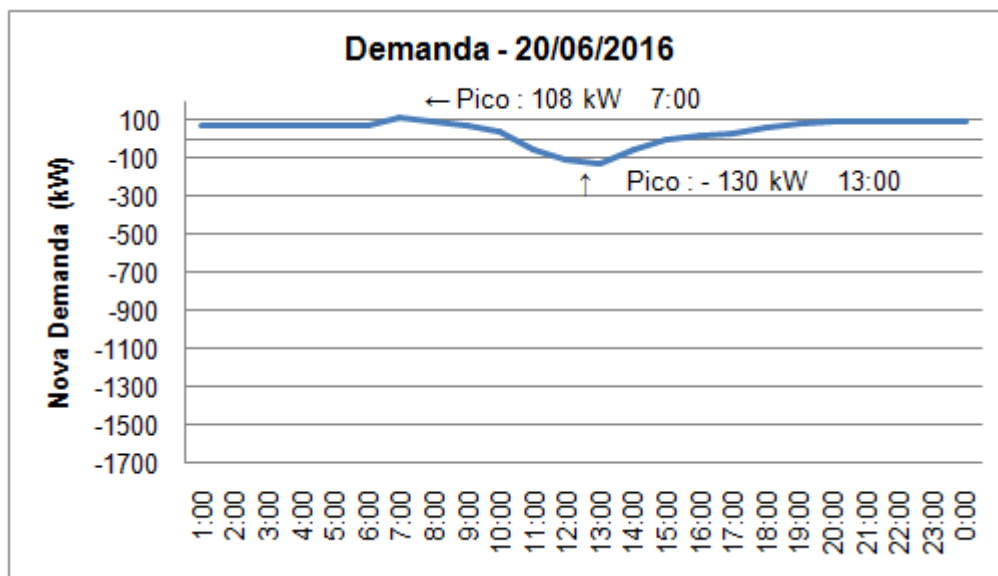


Figura 105 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Mínima - Junho - Neville)
Fonte: A autora.

A análise do dia de irradiação mínima de Junho, mostrou que o pico de demanda de 143 kW as 08:00 (Figura 58), foi deslocado para 07:00 e obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas para 108 kW, conforme gráfico apresentado na Figura 105. Mesmo com o baixo nível de irradiação solar neste dia, o comportamento mostrou-se significativamente alterado, podendo ocorrer de injeção do excedente de energia na rede elétrica local no período compreendido entre as 11:00 as 15:00, atingindo seu ponto máximo de injeção as 13:00 alcançando uma potência de 130 kW.

Na Figura 106 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação típica de Junho (15/06/2016).

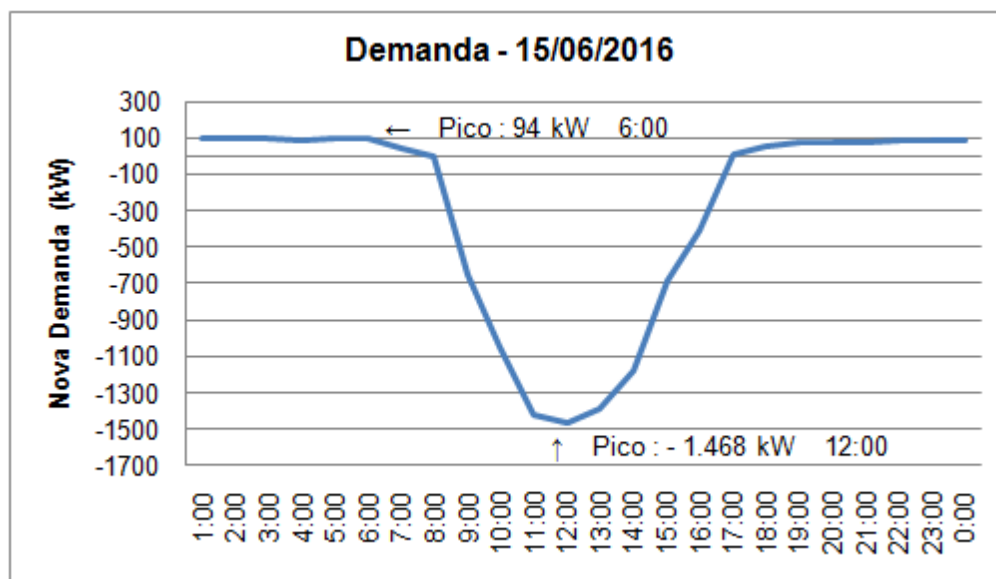


Figura 106 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Típica - Junho - Neville)
Fonte: A autora.

Para a análise do dia de irradiação típica de Junho, obteve-se a sobreposição das curvas de demanda fornecida com a potência calculada, apresentada na Figura 106, mostrando que o pico de demanda de 118 kW que ocorreu às 08:00 (Figura 59), poderá ser deslocado para as 06:00 e reduzido para 94 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia.

Neste sentido, é observado também a possibilidade de ocorrência de injeção do excedente de energia na rede elétrica local no período compreendido entre as 09:00 as 16:00, atingindo seu ponto máximo de injeção às 12:00 alcançando uma potência de 1.468 kW.

Na Figura 107 é mostrada a nova curva de demanda, para o dia de irradiação máxima de Junho (07/06/2016).

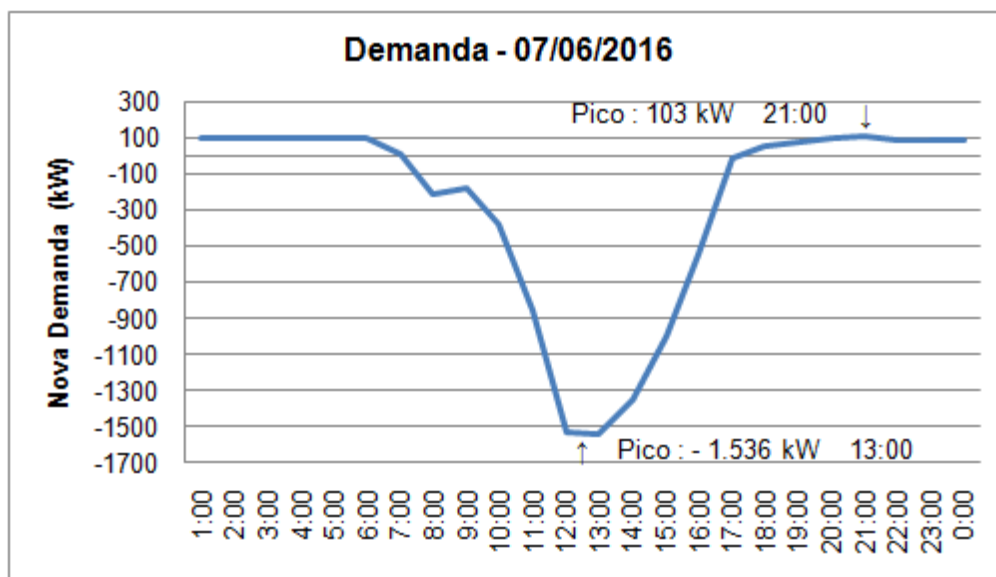


Figura 107 – Nova Curva de Demanda (Irradiação Máxima - Junho - Neville)
Fonte: A autora.

Quanto a análise do dia de irradiação máxima de Junho, em que o pico de demanda foi de 108 kW as 12:00 (Figura 60), obteve-se redução no pico de demanda através da sobreposição das curvas, conforme gráfico apresentado na Figura 107. Observa-se o pico da demanda é deslocado para as 21:00 e reduzido para 103 kW, havendo alteração significativa no comportamento da demanda ao longo do dia.

Além disso, é observado a ocorrência de injeção do excedente de energia na rede elétrica local no período compreendido entre as 08:00 as 17:00, atingindo seu ponto máximo de injeção as 13:00 alcançando uma potência de 1.536 kW .

A análise detalhada do percentual de redução do consumo energético e o cálculo do aumento da capacidade disponível da rede elétrica quando considerado a ampliação do SFVCR existente na sede Neville é feita a seguir.

4.3.7 Análise da Contribuição Energética

Conforme descrito no capítulo anterior, pode-se estimar os níveis de redução energético aplicando-se parâmetros de análise através do cálculo do Nível de Penetração Energético (NPE) e Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC). Neste sentido, aplicou-se a Equação 5 para o cálculo do NPE da sede Neville da

UTFPR. A energia total consumida nesta sede no ano de 2016 foi de 626,70 MWh e a energia gerada por um SFVCR de 2.008,38 kWp, seria de 2.737,97 MWh, portanto:

$$NPE = \frac{2.737,97}{626,70} \times 100 \qquad NPE = 436,88\%$$

Logo, a partir da aplicação desta equação obteve-se um NPE de 436,88% de redução de energia elétrica com a implantação de um SFVCR de 2.008,38 kWp. A partir desse resultado de NPE acima de 100%, significa que a energia produzida em excesso poderá ser exportada para outras sedes da UTFPR.

Para análise dos dias escolhidos no que se refere à redução dos picos de demanda, utilizou-se a Equação 7 e seus resultados são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Cálculo do FECC Para a Sede Neville

FATOR EFETIVO DE CAPACIDADE DE CARGA (2.008,38 kWp)			
DIA	DEMANDA	NOVA DEMANDA	FECC (%)
22/03/2016	161	157	0,2
17/03/2016	145	132	0,7
28/03/2016	139	82	2,8
20/06/2016	143	108	1,7
15/06/2016	118	94	1,2
07/06/2016	108	103	0,2

Fonte: A autora.

De acordo com os dados apresentados, nota-se que a redução máxima dos picos de demanda ocorre no dia 28/03/2016, resultando em um FECC de 2,8%. Entretanto, no dias 22/03/2016, 17/06/2017 a redução de pico de demanda foi pouco significativa, pois além da baixa redução, os picos ocorreram em horários em que os SFVCR apresentam baixa contribuição energética. Nos demais dias, devido ao deslocamento dos picos de demanda para horários em que não há contribuição energética, não ocorrem significativas reduções.

4.4 EMISSÕES EVITADAS

Na Tabela 24 é mostrado o histórico das emissões de CO₂ do SIN onde são mostrados a média anual e mensal dos fatores de emissões. O MCTI destaca que esse fator tem como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. Assim, o fator de emissão de CO₂ é calculado pela média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem.

Tabela 24 – Fator Médio Histórico das Emissões de CO₂ do SIN

Fator Médio Histórico de Emissão de CO ₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil (tCO ₂ /MWh)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2006	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,0360	0,0265	0,0280	0,0323
2007	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,0310	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496	0,0293
2008	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477	0,0484
2009	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194	0,0246
2010	0,0211	0,0280	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	0,0532	0,0512
2011	0,0262	0,0288	0,0208	0,0198	0,0270	0,0341	0,0308	0,0301	0,0273	0,0350	0,0356	0,0349	0,0292
2012	0,0294	0,0322	0,0405	0,0642	0,0620	0,0522	0,0394	0,0460	0,0783	0,0984	0,1247	0,1168	0,0653
2013	0,1151	0,1090	0,0981	0,0959	0,1151	0,1079	0,0838	0,0833	0,0840	0,0831	0,0930	0,0841	0,0960
2014	0,0911	0,1169	0,1238	0,1310	0,1422	0,1440	0,1464	0,1578	0,1431	0,1413	0,1514	0,1368	0,1355
2015	0,1275	0,1321	0,1369	0,1301	0,1258	0,1406	0,1221	0,1183	0,1217	0,1180	0,1127	0,1075	0,1244
2016	0,0960	0,0815	0,0710	0,0757	0,0701	0,0760	0,0725	0,0836	0,0897	0,0925	0,1002	0,0714	0,0817

Fonte: Adaptado de MCTI (2017).

De acordo com a Tabela 24, os valores mínimos e máximos do fator de emissões de CO₂ variou entre 0,0161 a 0,1578 tCO₂/MWh entre os anos 2006 e 2016 respectivamente. Nestes 11 anos de registros o valor médio calculado foi de 0,0653 tCO₂/MWh de emissão de CO₂ do SIN.

Este estudo apontou que a UTFPR câmpus Curitiba apresenta um potencial de instalação de um SFVCR de 3,25 MWp somando a potência dos sistemas propostos para as 3 sedes. Em termos de energia esse sistema geraria 4.371 MWh ao ano, no entanto, como já mencionado anteriormente a geração fotovoltaica não apresenta emissões de CO₂ em sua operação.

Neste sentido, de acordo com a média de 11 anos, tem-se um fator de emissão de 0,0653 tCO₂ para cada MWh sendo que o sistema estudado evitaria a emissão de 284,43 tCO₂/ano ao SIN do país.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As transições de sustentabilidade tem sido uma realidade no ambiente acadêmico mundial recentemente, no momento em que estas instituições se dispuseram a disseminar ações para viabilizar a educação para o desenvolvimento sustentável. Deste modo, seguindo este mesmo princípio, a UTFPR - câmpus Curitiba implementou estratégias sustentáveis aplicadas através da construção do Escritório Verde, o qual dispõe de práticas sustentáveis, utilizando novas tecnologias de geração de energia elétrica. O presente estudo contribui com as transições de sustentabilidade, mediante a aplicação de novos sistemas de energia, através da identificação do potencial de geração fotovoltaica no câmpus. Os aspectos de contribuição energética e redução nos picos de demanda foram analisados, sob cenários de proposta de ampliação dos SFVCR existentes e proposição de projeto para sedes que não apresentam tais sistemas operando.

Por meio da metodologia proposta, identificou-se que a sede Centro apresenta área total é de 23.172 m². Após estudo minucioso de suas coberturas, mediante análises de sombreamento, identificou-se a área disponível para ampliação do SFVCR existente de aproximadamente 6.500 m², comportando a potência instalada de 645,81 kWp, o que representa uma potência aproximadamente 307,5 vezes maior que o SFVCR de 2,1 kWp existente nesta sede. Com relação ao NPE, obteve-se um nível de 13,28% de redução de energia com implantação do SFVCR proposto, e a partir da escolha dos dias típicos identificou-se o FECC variando de 0% a 10,7% na redução de pico de demanda, dependendo da condição de irradiação solar disponível para o dia selecionado.

Cabe ressaltar que o cenário proposto utilizou o perfil de potência disponibilizada pelo SFVCR de 2,1 kWp existente na sede centro da UTFPR, e em operação desde dezembro de 2011. Como a proposta dessa pesquisa adotou metodologias que permitem maior ganho na geração FV, mediante análises de sombreamento e aplicação de tecnologias mais eficientes de conversão, como por exemplo, aplicação de inversores de alto rendimento e módulos FV com maior eficiência, certamente a curva de geração FV apresentaria maior intervalo de aproveitamento solar. Logo o SFVCR de 645,81 kWp proposto efetivamente

provocará alteração no perfil da curva de demanda da universidade conforme demonstrado nos dias analisados.

Estendendo a análise para a sede Ecoville, a qual é dividida em 2 terrenos, a sede apresentou uma área de aproximadamente 24.500 m² de área construída. No entanto a área disponível para aplicação de SFVCR projetado é de aproximadamente 3.740 m², para a quadra da Engenharia Civil, Arquitetura e Química e de 1.800 m² para a quadra da Engenharia Mecânica. Devido a existência de 2 medidores de energia elétrica, projetou-se 2 SFVCR a partir das áreas disponíveis com potências de 401,98 kWp e 193,38 kWp, resultando nos NPE calculados de 14,57% e 25,24% respectivamente. Como os blocos da Engenharia Civil, Arquitetura e Química apresentaram perfil de carga noturno, o FECC foi superior ao da sede Centro variando de 0% a 16,4%, conforme disponibilidade de irradiação solar para os dias analisados. Os blocos da Engenharia Mecânica por sua vez, apresentaram FECC mais elevado em relação ao bloco anterior, variando de 0% a 16,5%, pelo motivo deste apresentar um consumo inferior e diurno, principalmente nos dias analisados de Março, podendo haver injeção do excedente de energia fotogerada na rede elétrica.

A sede Neville apresentou a maior área construída entre as sedes com aproximadamente 31.000 m², e conseqüentemente foi a sede com maior área disponível para ampliação do SFVCR. Aplicando-se a metodologia proposta, identificou-se uma área de aproximadamente 21.000 m², onde foram excluídas as áreas com possíveis sombras, a sede comporta um SFVCR com potência instalada de 2.008,38 kWp, resultando em um sistema aproximadamente 196,9 vezes maior que o SFVCR instalado recentemente de 10,2 kWp. Apesar de o NPE calculado ter sido de 436,88%, os índices de FECC variaram 0,2% a 2,8% devido a ocorrência dos picos de demanda serem encontrados, na maioria dos dias analisados, em horários em que não há contribuição do gerador FV. Devido a demanda desta sede ser baixa e a área disponível para os SFVCR ser muito extensa, haveria injeção do excedente de energia fotogerada mesmo nos dias de baixa disponibilidade de irradiação solar.

Conforme resultados obtidos mediante aplicação das equações do FECC, pôde-se concluir que devido a esse índice muitas vezes atingir 0%, não haverá neste caso redução do pico de demanda. A hipótese levantada sobre a possibilidade de se adiar a expansão convencional do sistema elétrico com a implantação dos

SFVCR foi refutada, apesar da operação destes sistemas exigirem o uso em paralelo com a rede elétrica que possibilitam aliviar os picos de demanda de energia da rede elétrica local.

Portanto, os resultados obtidos através dessa pesquisa mostram que a UTFPR - câmpus Curitiba apresenta um vasto potencial para a geração de energia FV, sendo que a instituição poderia alocar um SFVCR com potência instalada total de 3,25 MW, caracterizando uma usina FV de minigeração distribuída conectada a rede de distribuição. Quanto ao total de energia gerada pelos SFVCR propostos, estes produziram 4,37 GWh de energia ao ano, sendo o NPE total calculado de 489,97%, o que significa a ocorrência de injeção do excedente de energia fotogerada no sistema elétrico, podendo ser exportado para as outras sedes, conforme sistema de compensação da ANEEL, inclusive para as sedes de outras cidades. Além da possibilidade de redução de custos com energia elétrica, existiria uma redução significativa nas emissões de GEE's referentes ao cálculo de CO₂ podendo evitar a emissão de 284,43 tCO₂/ano ao SIN do país.

Desse modo, o objetivo da pesquisa foi atingido através dos seguintes objetivos específicos:

1. Analisar a característica do consumo de energia elétrica da edificação ao longo do ano, a partir da análise das leituras de memória de massa fornecidas pela concessionária;
2. Quantificar a contribuição energética dos SFVCR propostos para todas as sedes (Centro, Ecoville e Neoville), analisando os cenários possíveis;
3. Calcular e analisar o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), quantificando a capacidade da geração fotovoltaica em contribuir efetivamente na redução dos picos de demanda, por meio de estudos das curvas de geração, penetração e cargas;
4. Quantificar as reduções de emissões de GEE's e impactos ambientais com a geração descentralizada de energia.

Um fator que merece destaque primordial para esta pesquisa refere-se a disponibilidade e acesso aos dados de demanda e consumo através da plataforma CAS Hemera da Copel, assim como dados de irradiação disponibilizados pelo INMET e o piranômetro instalado na UTFPR na sede Centro, o que torna a análise efetiva das condições reais da instituição. Adicionalmente, outro fator relevante, se

deve à existência de plantas FV operando a 5 anos e a mais recente nas condições ideais.

Logo, pode-se concluir que a aplicação de estratégias que utilizem a geração fotovoltaica apresenta-se como uma solução sustentável, pois a implantação dos SFVCR confirmam as hipóteses levantadas de aumento na oferta de energia no sistema elétrico, promoção da redução de emissões de GEE's na matriz elétrica de Curitiba e, adicionado a possibilidade de alteração do perfil de demanda a partir da aplicação de estratégias de eficiência energética, tornando sua operação mais efetiva.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

A metodologia proposta apresenta-se como uma ferramenta de estudo do potencial de geração FV, em que se analisaram fatores como demanda e consumo da UTFPR – câmpus Curitiba. Reconhece-se que adotando estes procedimentos aliados a outras estratégias de eficiência energética é possível ampliar os ganhos da geração de energia, assim através das sugestões dos seguintes temas pode haver continuidade da pesquisa proposta alavancando o conhecimento na área. Como sugestões para trabalhos futuros são sugeridos os seguintes temas:

- Estudo da aplicação de módulos FV de tecnologia de filmes finos nas fachadas e nas coberturas com superfícies curvas e desempenho desses sistemas;
- Análise da implantação de tecnologias de painéis seguidores, os quais acompanham o movimento do Sol, para obtenção do aproveitamento da irradiação solar ao longo do dia;
- Estudo de estacionamentos FV nas sedes que dispõe destes, a fim de alimentar carros elétricos na instituição;
- Análise da implantação de acumuladores de energia para SFVCR para uso nos períodos de ponta;
- Implementação de estratégias de eficiência energética aliada a implantação de SFVCR no câmpus, o que torna a instituição uma universidade sustentável de acordo com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n° 482, de 17 de abril de 2012.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “**ANEEL amplia possibilidades para micro e minigeração distribuída**”. 2015. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90>. Acesso em 17 mai. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras.** Disponível em:<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90> Acesso em: 5 fev. 2016a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “**Bandeira tarifária de março é amarela e, para abril, bandeira verde**”. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9083&id_area=90/>. Acesso em 19 abr. 2016b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz Energética do Brasil.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=12&ger=Combustivel&principal=Solar>> Acesso em: 27 jan. 2017a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “**Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**”. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>>. Acesso em: 27 jan. 2017b.

ALMEIDA, Laís Tamara de. **Implantação de um Piranômetro Termoeletrico na UTFPR para Análise do Potencial de Energia Solar Nesta Localidade.** 2015. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), UTFPR. Curitiba-PR, 2015.

ANAND, Chirjiv Kaur. BISAILLON, Veronique. WEBSTER, Alain. AMOR, Ben. Integration of sustainable development in higher education - a regional initiative in Quebec (Canada). **Journal of Cleaner Production.** n.108, p. 916-923, 2015.

BALABAN, Osman. OLIVEIRA, Jose A. Puppim de, Sustainable buildings for healthier cities: assessing the co-benefits of green buildings in Japan, **Journal of Cleaner Production** (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.086>

BARROS, Ana Dorys Muñoz. **A adoção de sistemas de avaliação ambiental de edifícios (LEED e Processo AQUA) no Brasil: Motivações, benefícios e dificuldades.** 2012. p. 203. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2012.

BARROS, Juan José Cartelle, COIRA, Manuel Lara, LÓPEZ, María Pilar de la Cruz, GOCHI, Alfredo del Caño. Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. **Energy**. n. 89, p. 473-489, 2015.

BEYNAGHI, Ali. TRENCHER, Gregory. MOZTARZADEH, Fathollah. MOZAFARI, Masoud. MAKNOON, Reza, FILHO, Walter L. Future sustainability scenarios for universities: moving beyond the United Nations Decade of Education for Sustainable Development. **Journal of Cleaner Production**. n. 112, p. 3464-3478, 2016.

BOXWELL, Michael. **Solar Electricity Handbook - 2015 Edition: A simple, practical guide to solar energy - designing and installing solar PV systems**. Kindle Edition: Greenstream Publishing, 2015.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **CR1000**. Disponível em <<https://www.campbellsci.com.br/cr1000-datalogger>>. Acesso em 10 mai. 2016.

CAMPOS, Henrique M.. **Geração distribuída de energia solar fotovoltaica na matriz elétrica de Curitiba e região: um estudo de caso**. 2015. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UTPFR, Curitiba-PR, 2015.

CASAGRANDE JR, Eloy F.. KOBISKI, Bruno V.. GÓIS, João A.. AGUDELO, Libia P. P.. Practical Strategy for Sustainable Development in Education: The Green Office's Case of the Federal University of Technology of Paraná, Curitiba, Brazil. **World Symposium on Sustainable Development at Universities (WSSD-U-2012)**, 5 – 6 June 2012, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.escriorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Green-OfficeChapter-69-Book-WSSD-2012-Rio+20-Conference.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2016.

CHALFOUN, Nader. Greening University Campus Buildings to Reduce Consumption and Emission While Fostering Hands-on Inquiry-Based Education. 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, Sustain 2013. **Procedia Environmental Sciences**. n. 20, p. 288-297, 2014.

CHENARI, Behrang. CARRILHO, João Dias. SILVA, Manuel Gameiro da. Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 59, p. 1426-1447, 2016.

CLEAN TECHNICA. **"Largest Solar Plant On Planet Earth - Solar Star - Comes Online"**. Disponível em: <<https://cleantechnica.com/2015/06/26/largest-solar-plant-planet-earth-solar-star-comes-online/>>. Acesso em 29 jan. 2017.

CONNOLLY, D. LUND, H. MATHIESEN, B.V. Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 60, p. 1634-1653, 2016.

COP21. Sustainable Innovation Forum 2015. Disponível em: <<http://www.cop21paris.org/>>. Acesso em 28 jun. 2016.

COP22. UN Climate Change Conference 2016. Disponível em: <<http://cop22.ma/en/#>>. Acesso em 27 jan. 2017.

COPEL. NTC 905200: **Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da COPEL**. Curitiba, 2014. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/DEE0C6F8CB4D20F403257C9B005C6712/\\$FILE/905200.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/DEE0C6F8CB4D20F403257C9B005C6712/$FILE/905200.pdf)>. Acesso em 2 mai. 2016.

DECC. **UK emissions statistics**. London: Department of Energy and Climate Change; 2014. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/496946/2014_Final_Emissions_Statistical_Summary_Infographic.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2016.

DESIGNBOOM. Disponível em: <<http://www.designboom.com/architecture/mtm-arquitectos-construct-plaza-major-at-uam-madrid-11-01-2013/>>. Acesso em 20 abr. 2016.

EARTHTIME. “**Cleaning up Electricity: California solar energy programs**”. Disponível em: <<http://www.earthtimes.org/green-blogs/eco-friendly-gadgets/cleaning-electricity-california-solar-energy-programs-20-Feb-12/>>. Acesso em 26 abr. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016 - Ano base 2015: Relatório Final**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ESCRITÓRIO VERDE ONLINE. Disponível em: <<http://www.escriorioverdeonline.com.br/artigos/>> Acesso em: 8 abr. 2016.

EXAME. “**Enel Green Power vai construir usinas fotovoltaicas no país**”. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/italiana-enel-green-power-vai-construir-2-usinas-fotovoltaicas-no-brasil>>. Acesso em 27 abr. 2016.

FTHENAKIS, V. M. End-of-life management and recycling of PV modules. **Energy Policy**. n. 28, p. 1051-1058, 2000.

G1. “**Governo decide desligar 21 térmicas de maior custo**”. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/08/governo-decide-desligar-21-termicas-de-maior-custo.html>>. Acesso em 19 abr. 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, Daniel B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, ano V, n.51, p. 1-7, ago. 2005.

GOOGLE EARTH PRO. Disponível em <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em 6 mai. 2016.

GRAY, David E. “Pesquisa no mundo real”, 2ª Edição, Porto Alegre, Editora Penso, 2012.

GREGORY, Catherine. **Solar Energy for Beginners: The Complete Guide to Solar Power Systems, Panels & Cells**. Kindle Edition: Loco Media, 2015.

GRÜNBERG, Paula Regina Mendes, MEDEIROS, Marcelo Henrique Faria de. TAVARES, Sergio Fernando. Certificação Ambiental de Habitações: Comparação entre Leed For Homes, Processo AQUA e Selo Casa Azul. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XVII, n. 2. p. 195-214, abr/jun 2014.

GUEDES, Valdir Lamim. Consciência negra, justiça ambiental e sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v. 3, n. 2, p. 223-238, jul/dez 2012.

HÁK, Tomás. JANOUSKOVÁ, Svatava. MOLDAN, Bedrich. Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. **Ecological Indicators**, n. 60, p. 567-573, 2016.

HAREON SOLAR. Disponível em < <http://elcosolar.com.br/wp-content/uploads/2016/11/Hareon-4BB-POLY-315W-Elcosolar.pdf> >. Acesso em 12 nov. 2016.

HESS, David J. MAI, Quan D. Renewable electricity policy in Asia: A qualitative comparative analysis of factors affecting sustainability transitions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**. n.12, p. 31-46, 2014.

HOSSAIN, M.S. MADLOOL, N.A. RAHIM, N.A. SELVARAJ, J. PANDEY, A.K. KHAN, A. F. Role of smart grid in renewable energy: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 60, p. 1168-1184, 2016.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre_inmet>. Acesso em 5 mai. 2016.

IRENA. International Renewable Energy Agency. Disponível em <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2016.pdf>. Acesso em 6 mai. 2016.

ITAUPU. “Itaipu Binacional”. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/>> Acesso em: : 18 abr. 2016.

JARDIM, CAROLINA DA SILVA. **A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução de pico de demanda diurno**. 2007. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2007.

JORGE, Manuel Larrán. MADUEÑO, Jesús Herrera. CEJAS, María Yolanda Calzado. PEÑA, Francisco Javier Andrades. An approach to the implementation of sustainability practices in Spanish universities. **Journal of Cleaner Production**. n. 106, p. 34-44, 2015.

KEATING, Michael. **The Rio Declaration on Environment and Development (1992)**. 1992. Disponível em: <http://www.unesco.org/education/nfsunesco/pdf/RIO_E.PDF> Acesso em: 21 mar. 2016

KIPP&ZONEN . Kippzonen_Instructionsheet_Pyranometer_Cmp3_V1410,2015. Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3-Pyranometer>>. Acesso em 3 mai. 2016.

KLEIN, Sharon J.W. WHALLEY, Stephanie. Comparing the sustainability of U.S. electricity options through multi-criteria decision analysis. **Energy Policy**. n. 79, p. 127-149, 2015.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de Metodologia Científica**: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. Petrópolis: Vozes, 2011.

KOREA. “Korea leads the Green way”. Disponível em: <<http://www.korea.net/NewsFocus/Sci-Tech/view?articleId=104426>>. Acesso em 25 abr. 2016.

KRUEL, Alexandra Jochims. Ignacy Sachs – uma voz sempre atual na sociedade. **VI Encontro de estudos Organizacionais da ANPAD**. Florianópolis, 23 a 25 de maio de 2010.

KUANG, Yonghong. ZHANG, Yongjun. ZHOU, Bin. LI, Canbing. CAO, Yijia. LI, Lijuan. ZENG, Long. A review of renewable energy utilization in islands. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 59, p. 504–513, 2016.

LAKATOS, Eva Maria. MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo : Atlas 2003.

LEVA, Flávia Fernandes de; SALERNO, Carlos Henrique; CAMACHO, José Roberto; GUIMARÃES, Sebastião Camargo. Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2004. **Anais do 5º Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004, Campinas.

LIMA, Lucimara F. de. **Processo AQUA de certificação de edificações sustentáveis na fase operação e uso: Estudo de caso do Escritório Verde da UTFPR**. 2013. p. 106. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UTFPR, Curitiba-PR, 2013.

LOZANO, Rodrigo. CEULEMANS, Kim. ALMEIDA, Mar Alonso. HUISINGH, Donald, LOZANO, Francisco J. WAAS, Tom. LAMBRECHTS, Wim. LUKMAN, Rebeka. HUGÉ, Jean. A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: results from a worldwide survey. **Journal of Cleaner Production**. n.108, p. 1-18, 2015.

MAGAGNA, Davide. UIHLEIN, Andreas. Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. **International Journal of Marine Energy**. n.11, p. 84-104, 2015.

MARIANO, Juliana. D. SANTOS Francielle. R. BRITO, Gabriel. W. CASAGRANDE JR, Eloy. F. URBANETZ JR, Jair. Hydro, thermal and photovoltaic power plants: A comparison between electric power generation, environmental impacts and CO2 emissions in the Brazilian scenario. **International Journal of Energy and Environment**, v. 7, n. 4, p 347-356, 2016a.

MARIANO, Juliana. D. CAMPOS, Henrique M. TONIN, Fabianna S. URBANETZ JR, Jair. CASAGRANDE JR, Eloy. F. Performance of photovoltaic systems: Green office’s case study approach. **International Journal of Energy and Environment**, v. 7, n. 2, p 123-135, 2016b.

MAURIN, François Diaz. Power capacity: A key element in sustainability assessment. **Ecological Indicators**. n. 66, p. 467-480, 2016.

MCDONALD, N. C., PEARCE, J.M. Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. **Energy Policy**. n. 38, p. 7041-7047, 2010.

MCTI. **Fatores de Emissão de CO2 de acordo com a ferramenta metodológica: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versões 1, 1.1, 2, 2.1.0, 2.2.0, 2.2.1, 03.0.0 e 04.0" aprovada pelo Conselho Executivo do MDL**. 2015. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74689.html>>. Acesso em 15 ago. 2015.

MCTI . **Fatores de Emissão de CO2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos** Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em 01 fev. 2017.

MEADOWS, Dennis L. **The limits to growth**. New York. Universe Books. 1972.

MESSENGER, Roger A.; VENTRE, Jerry. **Photovoltaic Systems Engineering**. New York: CRC Press, 2010.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, p. 22-41, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<https://http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 5 abr. 2016.

MONTENEGRO, Alexandre de A.. **Avaliação do Retorno do Investimento em Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Residências Unifamiliares Urbanas no Brasil**. 2013. 211 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2013.

MOREIRA, João M.L. CESARETTI, Marcos A. CARAJILESCOV, Pedro. MAIORINO, José R. Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. **Energy Policy**. n. 87, p. 334–346, 2015.

NASIBULINA, Anastasia. Education for Sustainable Development and Environmental Ethics. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. n. 214, p. 1077-1082, 2015.

NETO, Pedro Bezerra Leite. SAAVEDRA, Osvaldo Ronald. CAMELO, Nelson José. RIBEIRO, Luiz A. de Souza. FERREIRA, Rafael M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería**. vol.19, nº2, p. 219-232, 2011.

OLUBUNMI, Olanipekun Ayokunle. XIA, Paul Bo. SKITMORE Martin. Green building incentives: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 59, p. 1611-1621, 2016.

PAC. “**Brasil inaugura parque eólico do maior complexo da América Latina**”. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/48d35480>>. Acesso em 18 abr. 2016.

PARIDA, Bhubaneswari. INIYAN, S. GOIC, Ranko. A review of solar photovoltaic Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 15, p. 1625-1636, 2011.

PEREIRA, Enio. Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2006.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014, 529 p.

REBECHI, Samuel Hilário. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno**. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2008.

RIO20. **Sobre a Rio+20**. Rio de Janeiro: Comitê Nacional de Organização Rio+20, 2012. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html>. Acesso em: 28 mar. 2016.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC, 2004.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SÁNCHEZ, Luis E. CROAL, Peter. Environmental Impact Assessment, from Rio-92 to Rio+20 and Beyond. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo. v. XV, n. 3, p. 41-54, set.-dez. 2012.

SCHUTEL, Soraia. GIORDANI, Estela Maris. Ontopsicologia e Gestão: a Formação da Mentalidade Sustentável. **V Encontro de Estudos em Estratégia**. Porto Alegre, 15 a 17 de maio de 2011.

SCOTLER, Steve. “**Enhanced Geothermal Energy and Man-Made Earthquakes**”. Disponível em: <<http://stevecotler.com/tales/2009/07/02/egs-earthquakes/>>. Acesso em 18 abr. 2016.

SILVA, Rodrigo Corrêa da. NETO, Ismael de Marchi. SEIFERT, Stephan Silva. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 59, p. 328-341, 2016.

SKETCHUP. Disponível em <<https://www.sketchup.com/pt-BR/download>>. Acesso em 5 set. 2016.

SMETS, Arno. JÄGER, Klaus ,ISABELLA, Olindo , SWAAIJ, René van. ZEMAN, Miro. **Solar Energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems**. Eindhoven :Eindhoven University of Technology, 2015.

SOKKA, L. SINKKO, T. HOLMA, A. MANNINEN, K. PASANEN, K. RANTALA, M. LESKINEN, P. Environmental impacts of the national renewable energy targets – A case study from Finland. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 59, p. 1599-1610, 2016.

STAMFORD, Laurence. AZAPAGIC, Adisa. Life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070. **Energy for Sustainable Development**. n. 23, p. 194-211, 2014.

STREIMIKIENE, Dalia. SIKSNELYTE, Indre. Sustainability assessment of electricity market models in selected developed world countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 57, p. 72–82, 2016.

SUNPOWER. “**Fact Sheet - Solar Star Projects**”. Disponível em: <<https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/fact-sheets/fs-solar-star-projects-factsheet.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2017.

SUSTAINABILITY ASU. Disponível em: <<https://sustainability.asu.edu/operations/>> Acesso em: 8 abr. 2016.

TAN, Hongwei. CHEN, Shuqin. SHI, Qian. WANG, Lingling. Development of green campus in China. **Journal of Cleaner Production**. n. 64, p.646-653, 2014.

TELEMEDIÇÃO. **Sistema de Telemedicação de Energia**. Disponível em <<http://telemedicao.copel.com/hemera/hemera.jsp>>. Acesso em 5 mai. 2016.

TIEPOLO, Gerson M.. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 229 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – PUCPR, Curitiba-PR, 2015.

UFRGS. **Programa RADIASOL**. Laboratório de Energia Solar. Disponível em <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em 10 mai. 2016.

UIHLEIN, Andreas. MAGAGNA, David. Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n.58, p. 1070-1081, 2016.

UNESCO. **United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)**: About us. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/about-us/>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

UNITED NATIONS, 2012. **The future we want**. 2012. Disponível em: <<http://www.uncsd2012.org/content/documents/727The%20Future%20We%20Want%2019%20June%201230pm.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

UNITED NATIONS. **Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment**. 1972. Disponível em: <<http://legal.un.org/avl/ha/dunche/dunche.html>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

UNITED NATIONS. **Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development**. 2002. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2015.

UNITED NATIONS. Report of the World Commission on Environment and Development: **Our Common Future**. 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. Curitiba: UTFPR, 2008.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e dimensionamento de sistemas**. Curitiba, 2012.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2010.

URBANETZ JUNIOR, Jair; CHINVELSKI, Tiago; SIMÃO, Carla A.; MAKISHI, Lilian M.. Primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica homologado pela COPEL. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, V, 2014, Recife. **Anais do V Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Recife, 31 a 3 de abril de 2014.

URBANETZ JUNIOR, Jair; MARIANO, Juliana D'Angela; CAMPOS, Henrique M.; TONIN, Fabianna; CASAGRANDE, Eloy F.; TIEPOLO, Gerson M.. Acompanhamento e análise de três anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da UTFPR. CONGRESSO INTERNACIONAL SODEBRAS, XXXIII, 2015. **Anais do XXXIII Congresso Internacional Sodebras**, Salvador, 29 a 31 de maio de 2015.

URBANETZ JUNIOR, Jair; TIEPOLO, Gerson M.; CASAGRANDE, Eloy F.; TONIN, Fabianna S.; MARIANO, Juliana D. Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba. In: X CBPE. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 26 a 28 de setembro de 2016. Gramado/RS.

UTFPR. **“Departamento de Educação Física Inaugura as Atividades da Nova Sede Neville do Câmpus Curitiba”**. Disponível em <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/departamento-de-educacao-fisica-inaugura-as-atividades-da-nova-sede-neville-do-campus-curitiba>>. Acesso em 16 mai. 2016d.

UTFPR. **“Sede Ecoville do Campus Curitiba Completa Cinco Anos”**. Disponível em <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura->

universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/sede-ecoville-do-campus-curitiba-completa-cinco-anos>. Acesso em 16 mai. 2016c.

UTFPR. “**UTFPR: inovação e geração de tecnologias**”. Disponível em <<http://www.utfpr.edu.br/a-instituicao>>. Acesso em 2 mai. 2016a.

UTFPR. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Disponível em <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba>>. Acesso em 28 abr. 2016b.

VERA, Ivan. LANGLOIS, Lucille. Energy indicators for sustainable development. **Energy**, n. 32, p. 875-882, 2007.

VERBONG, Geert P.J. GEELS Frank. Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. **Technological Forecasting & Social Change**. n. 77, p.1214-1221, 2010.

VILLALVA, Marcelo G.; GAZOLI, Jonas, R.. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2012.

WEI, Wenjuan. RAMALHO. Olivier. MANDIN, Corinne. Indoor air quality requirements in green building certifications. **Building and Environment**. n.92, p. 10-19, 2015.

WU, Mickey H. NG, Thomas S. SKITMORE, Martin R. Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction. **Energy for Sustainable Development**. n. 31, p. 118-129, 2016.

ZHOU, Yu. State power and environmental initiatives in China: Analyzing China’s green building program through an ecological modernization Perspective. **Geoforum**. n. 61, p. 1–12, 2015.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de.. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.