

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

JULIANO DA SILVA PEREIRA

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE
ESTACIONAMENTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS QUANTO AO
SUPRIMENTO LOCAL E DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2019

JULIANO DA SILVA PEREIRA

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE
ESTACIONAMENTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS QUANTO AO
SUPRIMENTO LOCAL E DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Pereira, Juliano da Silva

Investigação do potencial energético de estacionamentos solares fotovoltaicos quanto ao suprimento local e de veículos elétricos [recurso eletrônico] / Juliano da Silva Pereira. -- 2019.

1 arquivo texto (111 f.) : PDF ; 4,11 MB.

Modo de acesso: World Wide Web.

Título extraído da tela de título (visualizado em 12 dez. 2019).

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2019.

Bibliografia: f. 101-111.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Energia solar - Aplicações industriais. 3. Estações de carregamento da bateria (veículos elétricos) - Ensaios. 4. Veículos elétricos - Abastecimento de energia. 5. Estacionamento - Energia. 6. Energia solar na arquitetura. 7. Recursos naturais renováveis. 8. Energia - Fontes alternativas. 9. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Energia - Produção. 10. Geração de energia fotovoltaica - Curitiba (PR). I. Urbanetz Junior, Jair. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 624

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº183

A Dissertação de Mestrado intitulada: **Investigação do Potencial Energético de Estacionamentos Solares Fotovoltaicos Quanto ao Suprimento Local e de Veículos Elétricos**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Juliano da Silva Pereira**, no dia 03 de dezembro de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Jair Urbanetz - Presidente - UTFPR

Prof. Dr. Alessandra de Castro Machado - FSC

Prof. Dr. Tatiana Gadda - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 03 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela oportunidade da vida e por tornar tudo possível, inclusive a realização de mais este sonho.

Aos meus pais, Daniel e Angela, serei eternamente grato por sempre terem investido em meus estudos e me incentivado em todos os meus sonhos. Também, agradeço ao meu irmão, Gustavo, pelo companheirismo constante. Minha família é minha base e graças a ela que pude percorrer os caminhos que escolhi trilhar.

Agradeço também a minha avó Francisca, que sempre foi fonte de inspiração e motivação para mim, graças aos seus conselhos, bem como sua vontade de viver e realizar. Aos meus avós Lázaro e Cecília, agradeço o legado de perseverança e a família que construíram.

Aos amigos e pessoas especiais da minha vida, agradeço por estarem sempre ao meu lado, me acompanhando, me amparando e me ajudando a seguir em frente. Vocês tornam essa jornada mais leve e, certamente, mais válida. Dentre todos, preciso ressaltar os nomes da Paula, Adalberto, Nico, Tales, Thomaz, Guilherme, Felipe, Paulo, Jessica e Luiza.

Ao Professor Dr. Jair Urbanetz Junior, agradeço pela orientação, pelas reuniões e pelo empenho extraordinário com o qual se dedica pelo setor de energia solar. De caráter admirável, será sempre um exemplo de dedicação pela educação.

Às Professoras Dras. Tatiana Gadda e Alessandra Machado, agradeço pela participação na banca e pelas contribuições extremamente benéficas conferidas a esse trabalho.

Aos meus colegas do PPGEC e do LABENS, que contribuíram direta ou indiretamente na realização desse trabalho.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

"Estude a ciência da arte. Estude a arte da ciência. Desenvolva seus sentidos - especialmente aprenda a ver. Perceba que tudo se conecta a todo o resto."
(Leonardo da Vinci)

RESUMO

PEREIRA, Juliano da S. **Investigação do potencial energético de estacionamentos solares fotovoltaicos quanto ao suprimento local e de veículos elétricos.** 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Em 2016, o setor de transportes foi responsável por 25% das emissões de gases de efeito estufa relacionadas à queima de combustíveis no mundo. No Brasil, este percentual é de aproximadamente 9% das emissões totais do país, em consequência da forte dependência da malha rodoviária para transporte de cargas e passageiros. A utilização de veículos elétricos como meio de transporte de passageiros tem aumentado em todo o mundo, sendo assim, pauta das discussões mundiais enquanto futuro da mobilidade e, também, como solução sustentável, devido à sua capacidade de minimizar as emissões carbônicas. Por outro lado, essa característica sustentável está diretamente relacionada ao fator de emissão da matriz elétrica de cada país. A dependência de uma matriz elétrica baseada em queima de combustíveis fósseis eliminaria o caráter sustentável dos veículos elétricos. Graças a grande participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, essa característica de baixas emissões se mantém. No médio e longo prazo, entretanto, é necessário identificar de que forma a nova demanda por energia dos veículos elétricos será suprida, mantendo o fator de emissão do setor elétrico baixo. Com isso, essa dissertação visa investigar a sinergia entre veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos, enquanto instrumentos de gestão energética, de redução de emissões de CO₂ e ferramentas de uso social enquanto laboratório vivo, através de uma planta piloto desenvolvida na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba, sede Neoville. A planta piloto desenvolvida possui capacidade de atender de 4 a 12 veículos elétricos diariamente, dependendo do modelo de veículo e padrão de deslocamento. Na projeção de implantação de geração de energia solar para todo o estacionamento da sede Neoville da UTFPR, seria possível atender todo o consumo da sede, além de gerar créditos excedentes para abatimento dos gastos energéticos das demais sedes do campus Curitiba, atendendo até 13% da demanda das mesmas. Com esse potencial energético, também seria possível atender de 2 a 6 mil veículos elétricos por dia, evitando emissões carbônicas a um montante equivalente a 0,05% das emissões do setor de transporte do estado do Paraná. O potencial de redução de emissão de CO₂ oriundas da utilização de veículos elétricos alimentados por energia solar, é de até 98% quando comparado ao uso do diesel, de 90% comparado ao uso da gasolina, de 71% levando em consideração o etanol e 62% quando se compara com o uso da matriz elétrica brasileira de 2018.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Veículos elétricos. Estacionamentos solares fotovoltaicos. Energias renováveis. Mobilidade.

ABSTRACT

PEREIRA, Juliano da S. **Energy Potential Assessment of Photovoltaic Parking Lots Regarding to Local Support and Electrical Vehicles.** 2019. 111 p. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2019.

In 2016, the transportation sector accounted for 25% of the world's fuel-burning greenhouse gas emissions. In Brazil, this percentage is approximately 9% of the country's total emissions, due to the strong dependence of road network for freight and passenger transportation. The use of electrical vehicles for passenger's transportation has been increasing around the world, thus being part of the global discussion as future of mobility, and also, as a sustainable solution, due to its capacity of reducing the greenhouse gas emissions. On the other hand, this sustainable characteristic is associated with the emission factor of the electric matrix of each country. Reliancy on an electric matrix based on fossil fuels burning would eliminate the sustainable character of electric vehicles. Thanks to the large share of renewables sources in the Brazilian electricity matrix, this low emission characteristic remains. However, in the medium and long term it is necessary to identify how the new energy demand of electric vehicles will be met, keeping the emission factor of the electric sector low. Thus, this dissertation aims to investigate the synergy between electric vehicles and photovoltaic systems, as instruments of economic management, CO₂ reduction and social use tool, through a pilot plant developed at Federal Technology University – Paraná, Curitiba campus, Neville headquarters. The pilot plant developed has the capacity to charge daily from 4 to 12 electric vehicles, depending on the vehicle model and travel pattern. In the projection of deployment of solar energy generation for the entire parking lot of the UTFPR, Neville headquarters, it would be possible to meet all the Neville consumption, and also to generate excess credits to reduce the energy costs of the other Curitiba headquarters, meeting up to 13% of their total demand. With all this energy potential, it would also be possible to charge from 2 to 6 thousand electric vehicles per day, avoiding carbon emissions equivalent to 0,05% of Paraná State transport sector. The potential for reducing CO₂ emissions from solar powered electrical vehicles is up to 98% compared to diesel, 90% compared to gasoline, 71% considering ethanol and 62% when compared to the use of the 2018 Brazilian electric matrix.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Electrical vehicles. Photovoltaic solar parking lots. Renewables energy. Mobility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Radiação solar no plano inclinado – média anual ($\text{Wh/m}^2.\text{dia}$)	25
Figura 2 – Efeito fotovoltaico	26
Figura 3 – Curva (a) I – V e (b) P – V de um módulo fotovoltaico	33
Figura 4 – Inversor Fronius Primo	35
Figura 5 – Procedimentos e etapas de acesso de micro e minigeração	39
Figura 6 – Análise WTW de eficiência: Diesel vs Veículo Elétrico	43
Figura 7 – Tipos de plugues de carros elétricos.....	47
Figura 8 – Emissões de CO_2 de VE e veículos a base de diesel	50
Figura 9 – Estacionamentos solares	55
Figura 10 – UTFPR, sedes do Campus Curitiba	57
Figura 11 – UTFPR, vagas de estacionamento sede Neoville	60
Figura 12 – UTFPR, vagas de estacionamento sede Neoville	61
Figura 13 – Importação de nova localização de estudo - PVSyst	62
Figura 14 – Orientação do sistema – PVSyst.....	63
Figura 15 – Configuração do sistema – PVSyst.....	64
Figura 16 – Resultado da simulação – PVSyst	65
Figura 17 – Eco Auto.....	67
Figura 18 – Estrutura de garagem solar para 2 vagas	72
Figura 19 – (a) Confeção da sapata – (b) Armadura para a sapata	73
Figura 20 – Muro para fixação dos equipamentos	76
Figura 21 – Localização da planta piloto	76
Figura 22 – Planta piloto do estacionamento solar da UTFPR, sede Neoville	77
Figura 23 – Localização da planta piloto	78
Figura 24 – Importação dos dados meteorológicos - PVSyst.....	79
Figura 25 – Orientação do estacionamento solar piloto - PVSyst	81
Figura 26 – Configuração da planta piloto: (a) Sub-array 1, (b) Sub-array 2 – PVSyst	82
Figura 27 – Curva de produção diária da planta piloto, dia 27 de outubro de 2019 ..	86
Figura 28 – Divisão do estacionamento da sede Neoville	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição da matriz brasileira x mundo em 2018	18
Gráfico 2 – Eficiência de células e módulos em laboratório por tecnologia.....	28
Gráfico 3 – Produção fotovoltaica mundial anual por tecnologia.....	28
Gráfico 4 – Divisão de mercado por tecnologias de filme fino.....	29
Gráfico 5 – Número total de SFCR no Brasil por ano, até outubro de 2019.....	30
Gráfico 6 – Capacidade fotovoltaica instalada acumulada global	30
Gráfico 7 – Índice de geração de emprego de diversas tecnologias de energias renováveis	32
Gráfico 8 – Demanda da UTFPR, sede Neoville	59
Gráfico 9 – Curva de produção diária média da planta piloto.....	84
Gráfico 10 – Dados mensais de produção da planta piloto	85
Gráfico 11 – Curva de produção vs Curva de demanda da sede Neoville	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de emissão de GEE das tecnologias de geração de eletricidade	41
Tabela 2 – Fatores de emissão de GEE para geração de eletricidade com sistemas fotovoltaicos e à biomassa	41
Tabela 3 – Comparação dos Custos de Deslocamento BMW I3 e um VCI.....	44
Tabela 4 – Modos de carga de veículos elétricos	46
Tabela 5 – Dados de irradiação para os dias típicos selecionados na cidade de Curitiba.....	58
Tabela 6 – Consumo diário total – sede Neoville	59
Tabela 7 – Comparação dos modelos de veículos elétricos utilizados nesta pesquisa	66
Tabela 8 – Principais diferenças entre os padrões NEDC e WLTP.....	66
Tabela 9 – Características dos Módulos Fotovoltaicos	73
Tabela 10 – Dados técnicos do inversor Fronius Primo 5.0-1	74
Tabela 11 – Configuração do arranjo fotovoltaico	74
Tabela 12 – Irradiação global horizontal na sede Neoville, UTFPR (kWh/m ² .dia).....	78
Tabela 13 – Irradiação no plano inclinado na sede Neoville, UTFPR (kWh/m ² .dia) ..	78
Tabela 14 – Estimativa da produção mensal da planta piloto, através do Radasol (kWh/mês).....	79
Tabela 15 – Resultado da simulação da planta piloto do estacionamento solar - PVSyst	83
Tabela 16 – Comparação dos dados da planta piloto reais e estimados	85
Tabela 17 – Consumo dos VE para percorrer 12,5 km	87
Tabela 18 – Energia consumida por dois VE	87
Tabela 19 – Quantidade de VE possíveis de serem atendidos pela planta piloto por dia	88
Tabela 20 – Distribuição das vagas para cobrir todo o estacionamento da sede Neoville	90
Tabela 21 – Configuração dos arranjos do estacionamento solar e projeção da geração	91
Tabela 22 – Quantidade de VE possíveis de serem atendidos diariamente por todo o estacionamento fotovoltaico da sede Neoville.....	94
Tabela 23 – Emissões relativas ao VE vs emissões relativas ao VCI, com base na quantidade de veículos que a planta piloto é capaz de atender.....	95
Tabela 24 – Emissões relativas ao VE vs emissões relativas ao VCI, com base na quantidade de veículos que todo o estacionamento da sede Neoville seria capaz de atender	96

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

AIE	Agência Internacional de Energia
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEV	<i>All Electric Vehicles</i>
ART	Anotação de responsabilidade técnica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DDR	Disjuntor Diferencial Residual
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EP	Eletroposto
FCVE	<i>Fuel Cell Electric Vehicles</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FV	Fotovoltaicos
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
G2V	<i>Grid-to-vehicle</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
PR	<i>Performance ratio</i>
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
TPED	<i>Total Primary Energy Demand</i>
TTW	<i>Tank to Wheel</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VE	Veículos Elétricos
VCI	Veículo a Combustão Interna

V2G	<i>Vehicle-to-grid</i>
WTW	<i>Well to Wheel</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	<i>Battery Electric Vehicles</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E-REV	<i>Extended Range Electric Vehicle</i>
GIPA	<i>Interprofessional Grouping in Automotive Products and Services</i>
HEV	<i>Híbrido Electric Vehicle</i>
LABENS	Laboratório de Energia Solar
PEW	Projeto Elétrico WEB
PEV	<i>Plug-in Electric Vehicles</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica ao Sistema Elétrico Nacional
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA	17
1.1.1 Delimitação do Tema	18
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	18
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo Geral	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 JUSTIFICATIVA	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 ENERGIA SOLAR	23
2.1.1 Radiação Solar	23
2.1.2 Células Fotovoltaicas	25
2.1.2.1 Silício monocristalino	26
2.1.2.2 Silício policristalino	26
2.1.2.3 Filmes finos	27
2.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica	29
2.1.3.1 Módulos fotovoltaicos	32
2.1.3.2 Inversores de frequência	34
2.1.3.3 Elementos de conexão e proteção	37
2.1.3.4 Estruturas para sustentação dos módulos	38
2.1.3.5 Legislação para micro e minigeração no Brasil	38
2.1.4 Potencial de Redução de CO ₂ de Sistemas Fotovoltaicos	40
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS	42
2.2.1 Tecnologias de Veículos Elétricos	44
2.2.2 Tecnologias de Recarga	46
2.2.3 Efeitos Ambientais dos Veículos Elétricos	49
2.3 O FUTURO DOS ESTACIONAMENTOS	51
2.3.1 Estacionamentos solares	54
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1 LOCAL DE ESTUDO	57
3.2 DADOS GEOGRÁFICOS, ENERGÉTICOS E DE IRRADIAÇÃO	58
3.3 POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DO ESTACIONAMENTO SOLAR	60
3.3.1 Produção da Planta Piloto do Estacionamento Solar	60
3.4 CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO DA DEMANDA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	
65	
3.5 DADOS PARA ANÁLISE DE EFEITOS SOBRE AS EMISSÕES DE CO ₂	69
4 RESULTADOS	72

4.1 DESENVOLVIMENTO DA PLANTA PILOTO DO ESTACIONAMENTO SOLAR	72
4.2 PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DA PLANTA PILOTO DO ESTACIONAMENTO SOLAR	77
4.3 MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO DA PLANTA PILOTO	84
4.4 PROJEÇÃO DO ABASTECIMENTO DE VE COM A PLANTA PILOTO	86
4.5 PROJEÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA TODO O ESTACIONAMENTO DA SEDE NEOVILLE DA UTFPR.....	88
4.6 PROJEÇÃO DO ABASTECIMENTO DE VE USANDO TODO O ESTACIONAMENTO SOLAR DO NEOVILLE.....	93
4.7 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO ₂	94
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

A energia, em suas diferentes formas, sustenta a sociedade moderna. Com ela o homem pode se deslocar, resfriar seus alimentos, comunicar-se ou entreter-se. Pode, também, realizar os mais variados processamentos industriais ou alimentar o mundo digital que o rodeia. A energia é essencial para a economia atual.

Em função dessa dependência, a perspectiva para o consumo energético no mundo para o século XXI pode ser resumida em uma única palavra: crescimento (YERGIN, 2014).

Segundo os estudos da International Energy Agency – IEA (2018), a demanda por energia primária (Total Primary Energy Demand – TPED) mundial pode aumentar, em relação a 2016, em 30% em 2040, o equivalente a adicionar outra China e Índia na demanda energética mundial. Esse aumento é necessário para atender uma economia global que vai crescer em torno 123%, bem como uma população que vai passar de 7,4 bilhões, em 2016, para mais de 9 bilhões de pessoas em 2040. No que se refere à produção de eletricidade, essa demanda vai crescer em torno de 72% até 2040.

Um aumento dessa escala é dispendioso e impacta em como serão definidas as políticas de forma a atender as necessidades de cada nação. Neste contexto, os governos precisam definir quais recursos vão utilizar, que tipos de usinas vão construir e como vão construí-las. A definição dos recursos envolve, por sua vez, uma análise de fatores como segurança energética e física, economia, valores e políticas públicas, bem como confiabilidade (YERGIN, 2014).

Além disso, existe a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa (GEE, ou *Greenhouse Gas* – GHG) e as alterações climáticas, visto que até 74,35% da geração de eletricidade no mundo em 2018 foi oriunda de recursos não renováveis (BP, 2019). Mais especificamente, o carvão é a fonte dominante, sendo responsável por 38% da produção mundial de energia, o gás natural é a segunda fonte mais utilizada, contando com 23,2% do total, ambas as fontes, no mesmo nível de uso que há 20 anos atrás.

As discussões sobre a relação humana com as alterações climáticas tiveram início na década de 70. Desde então, o meio ambiente, as emissões de carbono e as mudanças climáticas se tornaram fatores de vital importância para as definições do uso dos recursos energéticos.

A atividade humana na Terra tem causado uma série de impactos no meio ambiente. Como consequências identificam-se as alterações na temperatura, nas precipitações, no aumento do nível do mar e a intensificação dos eventos extremos, como secas, ondas de calor e ciclones tropicais (IPCC, 2007).

É desta forma que o emprego de energias renováveis tem ganhado força dentro das políticas energéticas de cada nação, de forma a atender o crescimento da demanda energética e também contribuir para construção de uma sociedade menos agressiva ao meio ambiente.

O transporte é um dos setores que demanda redução do nível de emissões de GEE. Segundo os dados da IEA (2018), em 2016, o mesmo foi responsável por quase 30% do consumo energético total e por um quarto das emissões totais de CO₂, totalizando 7,87 GtCO₂, um nível 71% maior do que em 1990.

Dessa forma, o uso de veículos elétricos (VE) desponta como uma solução para reduzir essas emissões, desde que os mesmos sejam carregados através de recursos renováveis. Segundo Nunes, Figueiredo e Brito (2016), modelos indicam que uma frota de veículos elétricos aliada a uma matriz elétrica de baixo índice de emissão de carbono poderia alcançar uma redução entre 48 a 70% de GEE em 2050, comparando aos níveis de 2015.

Uma das possibilidades de carregar os VE baseia-se no uso de sistemas fotovoltaicos (FV), visto que os mesmos possuem a vantagem de não emitir GEE durante sua geração. Devido a sua característica modular, os sistemas FV podem ser aplicados em meios urbanos, o que resulta em outro ponto positivo, pois, devido à proximidade entre a fonte de geração e o consumo (o que caracteriza a geração distribuída – GD) reduzem-se as perdas em função da transmissão de energia (CAMPOS, 2016). Finalmente, estes podem, quando comparados com outras fontes de energia como a de hidroelétricas, ser implantados em um curto período de tempo (ALENCAR; URBANETZ, 2016).

Além do mais, a energia solar fotovoltaica possui a característica de ser uma fonte não despachável e intermitente. Por sua vez, os veículos elétricos se configuram como dispositivos de armazenamento de energia. Dessa forma, o uso combinado da energia solar fotovoltaica para carregar os veículos elétricos poderia representar uma solução benéfica tanto para atender o aumento da demanda por energia, causado pela expansão da frota de VE, quanto para reduzir os custos de

infraestrutura da rede para atender o aumento da capacidade produtiva oriunda dos sistemas fotovoltaicos.

O uso em conjunto das duas tecnologias poderia ser feito através de estacionamentos solares, estrutura também conhecida como sistema *carport*. Este tipo de estacionamento pode ser instalado nos mais diversos locais, como: mercados, hotéis, shoppings, restaurantes, universidades, instituições públicas, etc., beneficiando-se de áreas que possam já estar livres para a instalação. Vaz, Barros e Castro (2015) ainda ressaltam que a criação de infraestrutura estimula a oferta, uma vez que os fabricantes evitam a produção e comercialização de VE em países ou regiões que não dispõem da infraestrutura necessária para operá-los.

Outro ponto a se destacar, é a dinâmica de carregamento dos VE através dos sistemas de *carport*, que pode ser feita de forma otimizada. Este carregamento pode ser feito, através do ajuste entre a produção solar e as necessidades energéticas da frota de veículos, também levando em consideração fatores como preço da eletricidade, ou demanda local. O fato da frota de VE representar uma capacidade de armazenamento implica na possibilidade de haver um fluxo bidirecional de energia, caso em que o VE deixa de ser um elemento passivo na rede, para prover serviços a mesma. Este conceito é conhecido como *vehicle-to-grid* (V2G), e resulta em mais uma das possibilidades das redes inteligentes de energia (*smrt-grids*).

Diante disso, esta pesquisa visa contribuir identificando a capacidade de um sistema fotovoltaico de *carport* em atender a demanda de veículos elétricos, gerir a demanda energética local e reduzir níveis de emissões de CO₂ no meio ambiente. A pesquisa se limita à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, sede Neoville, onde foi desenvolvido uma planta piloto de estacionamento solar para duas vagas.

1.1 TEMA

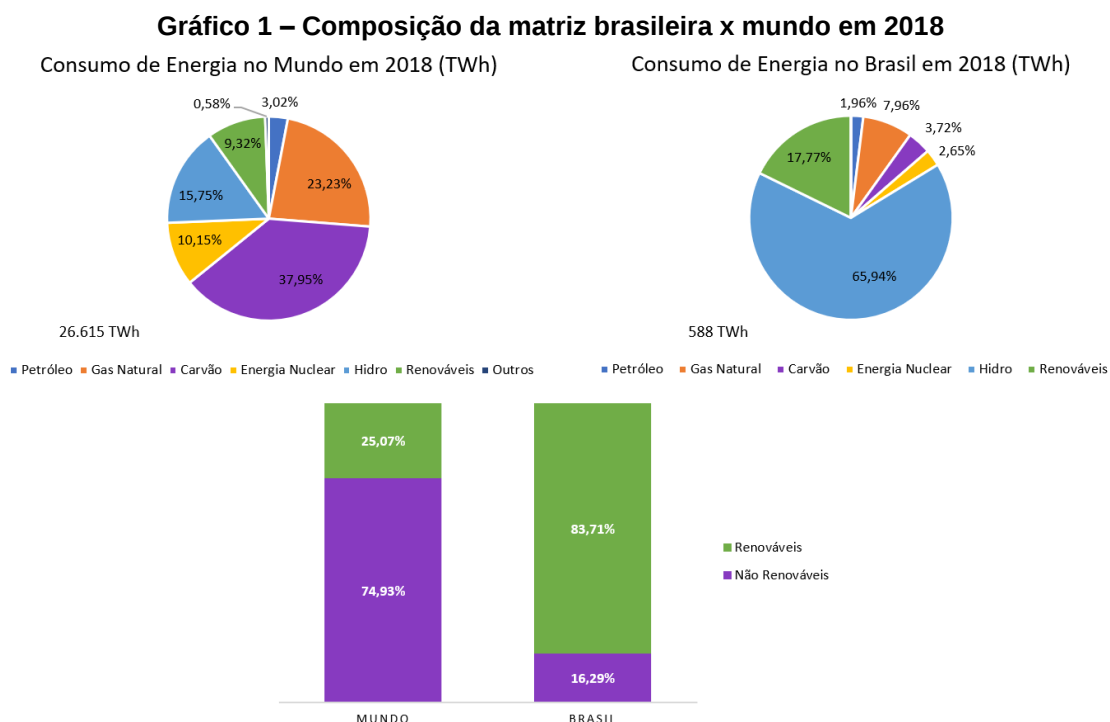
Carregamento de veículos elétricos através de estacionamentos solares fotovoltaicos, bem como suprimento energético local e redução de emissões de CO₂.

1.1.1 Delimitação do Tema

Esta pesquisa destina-se a investigar o potencial de sistemas fotovoltaicos enquanto solução para atender a demanda de veículos elétricos, para suprir a demanda energética local de uma instalação e reduzir emissões de CO₂ no meio ambiente. A mesma foi conduzida no campus Curitiba, sede Neville, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Em 2018, a matriz elétrica Brasileira contou com 83,71% de recursos renováveis, diferente da matriz mundial que teve somente 25,07% de participação de fontes renováveis (BP, 2019). Em 2018, a Agência Internacional de Energia (AIE) classificou a matriz brasileira como sendo a mais ecologicamente composta e com a maior participação de recursos renováveis entre os grandes consumidores de energia do mundo (MME, 2018).



Fonte: MME (2018), adaptado pelo autor

O grande desafio para o Brasil é, contudo, atender o aumento da sua demanda por eletricidade que, segundo a EPE (2016), deve chegar a 1,4 TWh em 2050, mais do que o dobro da demanda de 2018, mantendo o alto índice de participação de recursos renováveis em sua matriz.

O Brasil conta com uma vasta disponibilidade de recursos hídricos inexplorados. Estes recursos somam algo em torno de 155 GW de capacidade. Porém, segundo Perretto, Pereira e Volpato Garcia (2016) 56% desse potencial se encontra na região da bacia do rio Amazonas, local de contexto socioambiental que limita a implantação destes projetos, tais como: áreas de preservação ambiental ou reservas indígenas.

Além do mais, em 12 de setembro de 2016, foi concluído o processo de ratificação do Acordo de Paris, em que o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025, e de reduzir em 43% abaixo dos níveis de 2005, até 2030 (MME, 2016).

Em função da limitação de desenvolvimento de grandes projetos de usinas hidrelétricas, pela complexidade no uso dos recursos e, também, no desenvolvimento dos projetos, que com frequência se estendem por muitos anos; além da limitação da expansão da capacidade produtiva de energia baseada em combustíveis fósseis, devido aos compromissos internacionais assumidos, as energias renováveis e as fontes distribuídas de energia despontam como uma das possíveis soluções para atender o crescimento da demanda energética.

Além disso, ao expandir a frota de veículos elétricos brasileira, em substituição a uma frota sustentada por combustíveis fósseis, aliada a uma infraestrutura de carregamento renovável, se contribui diretamente para a redução de emissão de GEE do setor de transportes, que em 2016 foi responsável por liberar 204 MtCO₂ na atmosfera, ou seja, 8,98% das emissões totais brasileiras (SEEG, 2018).

Dessa forma, aliar a geração de energia solar fotovoltaica, juntamente com o carregamento de veículos elétricos desponta como solução tanto para o problema do aumento da demanda energética, quanto para a redução dos impactos no meio ambiente, contexto, no qual este trabalho está inserido. A pesquisa será conduzida, com base na análise de resultados obtidos em uma planta piloto, desenvolvida no campus Neville da UTFPR.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é identificar o potencial de um sistema fotovoltaico em atender as demandas energéticas locais e de carregamento de veículos elétricos, levando em consideração um cenário modelado em uma planta piloto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Neoville.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma planta piloto de estacionamento solar, para duas vagas de veículos elétricos, na sede Neoville da UTFPR;
- Analisar os resultados da planta piloto;
- Avaliar o potencial de geração fotovoltaica de todo o estacionamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sede Neoville;
- Avaliar a capacidade de suprimento da demanda energética da UTFPR, através da geração de energia do sistema fotovoltaico projetado;
- Identificar o potencial de veículos elétricos que poderiam ser atendidos pela planta piloto e por todo o estacionamento solar da UTFPR, sede Neoville;
- Identificar os efeitos sobre emissões de gases de efeito estufa;
- Identificar as oportunidades de uso da planta piloto para a investigação científica.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo a EPE (2006, p. 11), “o planejamento do setor energético é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de

energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos socioeconômicos e ambientais para a sociedade brasileira”.

O planejamento do setor energético é, então, ferramenta imprescindível para evitar consequências negativas como custo elevado, corte no fornecimento do serviço, ou má qualidade do mesmo e, também, para evitar impactos negativos no meio ambiente. Vale destacar, que o impacto de tais consequências pode afetar diretamente a capacidade de desenvolvimento econômico de um país.

Além disso, este planejamento deve englobar todas as variações socioculturais, bem como as constantes inovações tecnológicas. Ambas as tecnologias tratadas no âmbito desta pesquisa: sistemas fotovoltaicos e veículos elétricos, se caracterizam como inovações tecnológicas que deverão ser agregadas pelo setor energético.

Estas tecnologias se apresentam como solução para problemas atuais, seja o atendimento da crescente demanda energética, seja a adoção de tecnologias que reduzam o impacto do homem no ambiente que o cerca. Tanto o emprego de sistemas fotovoltaicos, quanto de veículos elétricos devem crescer nos próximos anos. Segundo a IEA (2017), a capacidade instalada fotovoltaica pode atingir pelo menos 1.589 GW em 2030, em comparação com os 398 GW de capacidade de 2017. Já o número de veículos elétricos pode passar de 3 milhões de carros em 2017, para pelo menos 125 milhões em 2030 (IEA, 2018).

Contudo, é necessária a ampla investigação científica destas tecnologias, de forma que sua disseminação seja benéfica para a sociedade, e de que todo seu potencial seja aproveitado.

Ainda que haja alguns estudos que analisam a interação entre estas tecnologias, é escasso o material de análise de plantas pilotos no Brasil, o que será realizado no âmbito desta pesquisa. De fato, ao utilizar a seguinte *string* como referência para busca na plataforma SCOPUS:

((“solar” OR “photovoltaic”) AND “parking lots”)

somente 168 resultados foram obtidos, sendo que a maior parte foi publicada a partir do ano de 2006, com volume relevante de publicações a partir de 2016. Do total, 35% das publicações são originárias dos EUA, sendo seguido do Iran e China com 7,7% das publicações cada um. O Brasil conta somente com 4 publicações, sendo que as mesmas foram indexadas como resultado da busca por similaridade do tema, não contendo resultados concretos acerca da aplicação de

energia solar em estacionamentos. Dos 168 resultados obtidos, 11 possuem similaridade direta com o tema desta pesquisa, no sentido de ter como objetivo investigar a atuação conjunta entre sistemas fotovoltaicos e estacionamentos, de acordo com dadas condições locais; as demais foram indexadas por similaridade geral com o tema.

Finalmente, as universidades, instituições de ensino e pesquisa têm como responsabilidade a promoção destas investigações, em função de sua capacidade de aplicar e disseminar os conhecimentos técnicos para a resolução de problemas. Assim sendo, esta pesquisa tem como proposta avaliar possíveis soluções para problemas energéticos e ambientais, identificando as oportunidades resultantes das soluções propostas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução, com apresentação e delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura, abordando os conceitos de: energia solar, veículos elétricos e estacionamentos solares.

Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, apresentando a metodologia empregada, dados utilizados e cenários e parâmetros considerados.

Capítulo 4 – Resultados, apresentando-se o produto da análise de dados embasada pela revisão de literatura efetuada.

Capítulo 5 – Considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA SOLAR

Através da fusão nuclear, o hidrogênio presente no sol é convertido em hélio gerando, no processo, a liberação de radiação, da qual várias outras fontes energéticas primárias na Terra são consequências, como a hidráulica, eólica, biomassa e dos combustíveis fósseis (EPE, 2018).

Os recursos solares são abundantes, se comparados às necessidades energéticas do planeta Terra. Segundo a IEA (2011), de toda a energia solar que chega à Terra, aproximadamente metade atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, ou seja, 5.500 vezes o consumo total de energia primária no mundo em 2017 (IEA, 2018).

Dentre as mais variadas aplicações para a radiação, destacam-se o aproveitamento da iluminação natural para aquecimento de ambientes; o aproveitamento da radiação para aquecimento de fluidos para gerar energia mecânica com o auxílio de turbinas a vapor e, posteriormente, para geração de eletricidade; ou, mais diretamente, para a conversão da energia solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico.

2.1.1 Radiação Solar

A radiação solar que atinge a superfície terrestre, no plano horizontal, pode ser decomposta em duas componentes (EPE, 2018). A primeira delas, a radiação direta, é aquela que incide diretamente sobre a superfície. Já a radiação difusa, por sua vez, é correspondente aos raios de sol que chegam indiretamente à superfície devido à poeira, nuvens ou outros possíveis objetos.

Segundo a norma ABNT NBR 10899:2006, existem dois termos principais para quantificar a radiação:

- Irradiância solar: correspondente a taxa na qual a radiação solar incide sobre uma determinada superfície, medida em Watt por metro quadrado (W/m^2).

- Irradiação solar: correspondente a irradiância solar integrada ao longo de um dia, medida em Watt-hora por metro quadrado (Wh/m²).

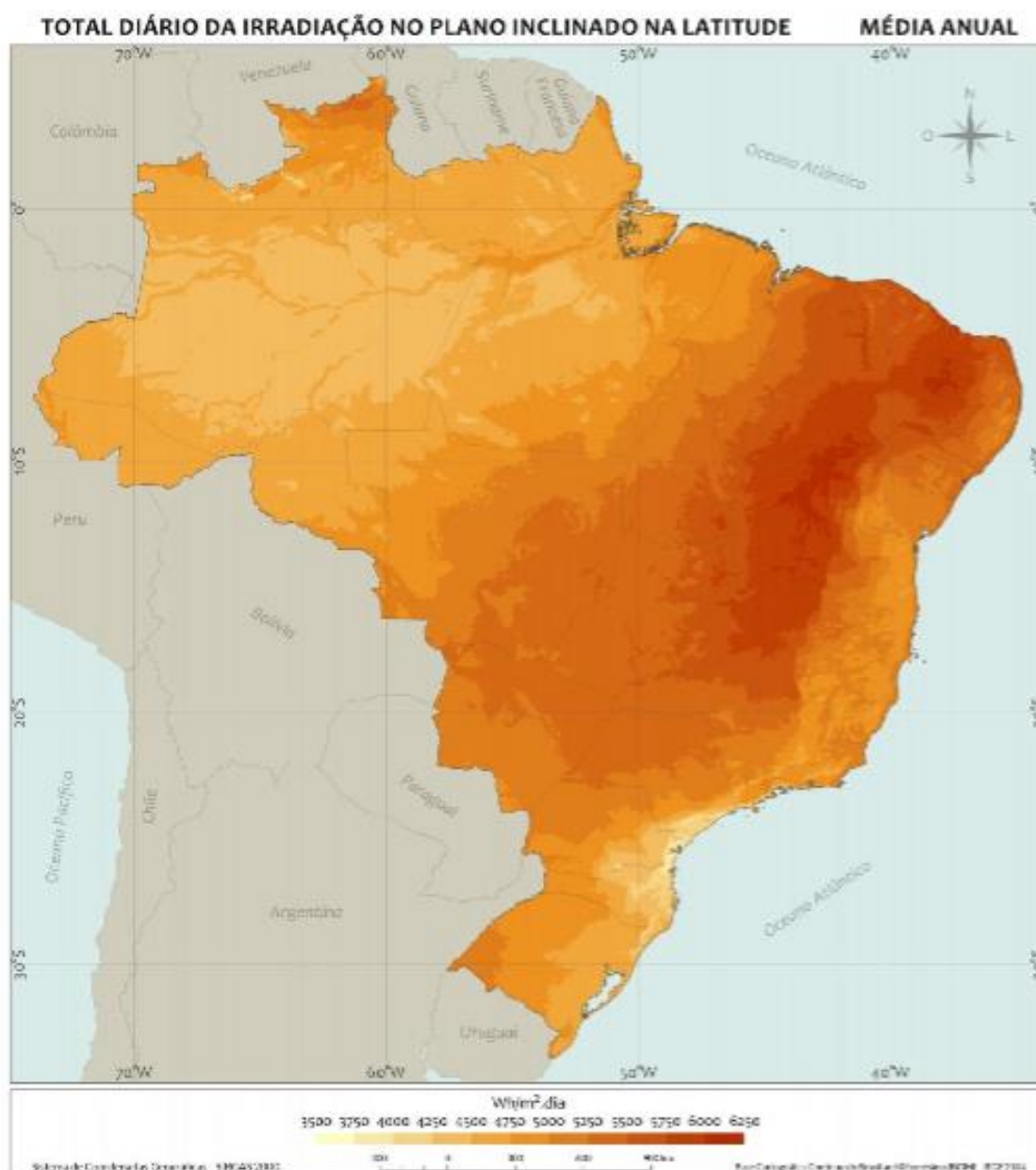
A irradiação é extremamente útil para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, por definir o recurso solar disponível em determinada região. Para determinar a irradiação incidente sobre determinado local, três conceitos são úteis:

- Ângulo azimutal: é o ângulo de orientação dos raios solares com relação ao norte geográfico;
- Latitude: é o ângulo formado entre o equador e um ponto estimado;
- Longitude: é o ângulo formado entre o meridiano que passa por determinado ponto e o meridiano de Greenwich.
- Massa de ar (*Air Mass* – AM): fator que representa as alterações que a radiação solar sofre ao atravessar a atmosfera terrestre, dependendo da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera. É um valor, dependente do ângulo zenital do Sol.

Segundo a EPE (2018), considerando que a faixa da variação da irradiação global horizontal anual do Brasil seja de 1.500 a 2.200 kWh/m², praticamente todo o território brasileiro é elegível ao aproveitamento do recurso solar. Para níveis de comparação, a irradiação solar anual média da Alemanha, um dos países líderes mundiais em capacidade de sistemas fotovoltaicos instalada, é de somente 1.251 kWh/m², ao passo que ela terminou o ano de 2016 com uma capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos 685 vezes superior à capacidade brasileira.

Conforme apresentado na Figura 1, vê-se que a faixa de irradiação no Brasil varia entre 4,4 a 6,4 kWh/m² por dia. Curitiba, por exemplo, situa-se em uma região com irradiação nos níveis de 4,4 a 4,6 kWh/m² por dia.

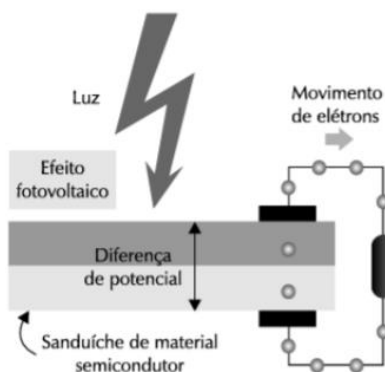
Figura 1 – Radiação solar no plano inclinado – média anual (Wh/m².dia)



Fonte: Pereira et al. (2017)

2.1.2 Células Fotovoltaicas

O princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica baseia-se no efeito fotovoltaico, o qual consiste na transformação da radiação solar em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores (VILLALVA, 2012). Ao criar um caminho entre estes materiais, surgirá uma corrente elétrica circulante.

Figura 2 – Efeito fotovoltaico**Fonte: Villalva (2012)**

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico base para produção de eletricidade através de sistemas fotovoltaicos. As células fotovoltaicas são, por sua vez, associadas em arranjos de série e paralelo a fim de constituir um módulo fotovoltaico. Estes últimos também são associados em série e paralelo de forma a atingir os níveis de tensão e correntes para produzir a energia desejada.

Existem diversas tecnologias para fabricação de células fotovoltaicas. Na sequência, são apresentados brevemente algumas das tecnologias mais comuns.

2.1.2.1 Silício monocristalino

Tecnologia na qual blocos de silício ultrapuro são aquecidos a temperaturas extremamente elevadas e submetidos a um processo de formação de cristal, do qual resulta o lingote de silício, de organização molecular homogênea e uniforme (VILLALVA, 2012).

O lingote é fatiado, para produzir *wafers*, que então são submetidos à processos químicos de forma a constituir as camadas P e N da célula fotovoltaica. Por fim, é adicionado as películas metálicas que conduzirão os elétrons.

As células de silício monocristalino são as mais eficientes atualmente, como pode ser visto no Gráfico 2.

2.1.2.2 Silício policristalino

O lingote de silício policristalino é formado por um aglomerado de pequenos cristais, cujos tamanhos e orientações são distintos. Diferentemente das células

monocristalinas, as células policristalinas possuem aparência heterogênea, com presença de manchas em sua coloração.

O processo de fabricação deste tipo de células possui um custo inferior ao de células de silício monocristalino. Por possuir custo de fabricação inferior e eficiência média em relação as tecnologias atuais, conforme pode ser visto no Gráfico 2, este é o tipo de célula mais empregado atualmente pelo mercado (FRAUNHOFER, 2019).

2.1.2.3 Filmes finos

Segundo Villalva (2012), os filmes finos são uma tecnologia de células, no qual finas camadas de materiais são depositadas sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. Dentre as vantagens de fabricação desta tecnologia, ressalta-se a menor quantidade de matéria prima necessária; a possibilidade de evitar os desperdícios que ocorrem no processo de fatiar os *wafers* cristalinos; bem como a economia de energia na produção, devido as temperaturas inferiores, em relação às tecnologias cristalinas, nas quais ocorrem os processos.

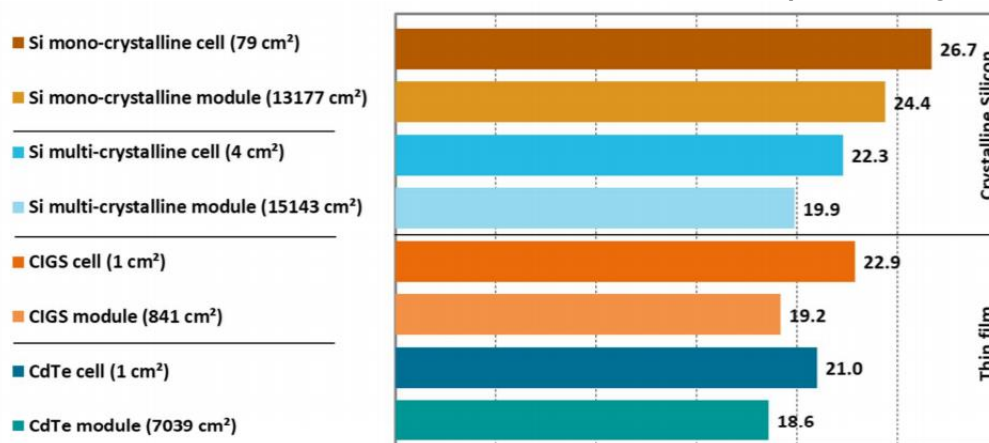
Apesar de possuírem um custo inferior de produção, a tecnologia de filmes finos possui menor eficiência, necessitando de uma área maior para produzir a mesma quantidade de energia que células à base de silício cristalinas.

Dentre as tecnologias mais comuns para células de filme fino, destacam-se:

- Células de telureto de cádmio (CdTe): são células que conquistaram uma parcela do mercado em determinadas regiões, em função de seu custo/eficiência. Porém, enfrentam problemas na sua produção em larga escala, devido à toxicidade do cádmio e da escassez do telúrio, que é um metal raro.
- Células de cobre-índio-gálio-selênio (CIGS): são células com maior eficiência dentro da tecnologia de filmes finos, sendo competitiva em aplicações integradas às edificações.
- Células de silício amorfo (Si-a): são células de baixa eficiência, quando comparadas às tecnologias cristalinas. Além disso, sua eficiência diminui durante os primeiros 6 a 12 meses de funcionamento, devido à degradação induzida pela luz.

No Gráfico 2 é apresentado a eficiência das células vs. módulos em laboratório para cada tipo de tecnologia.

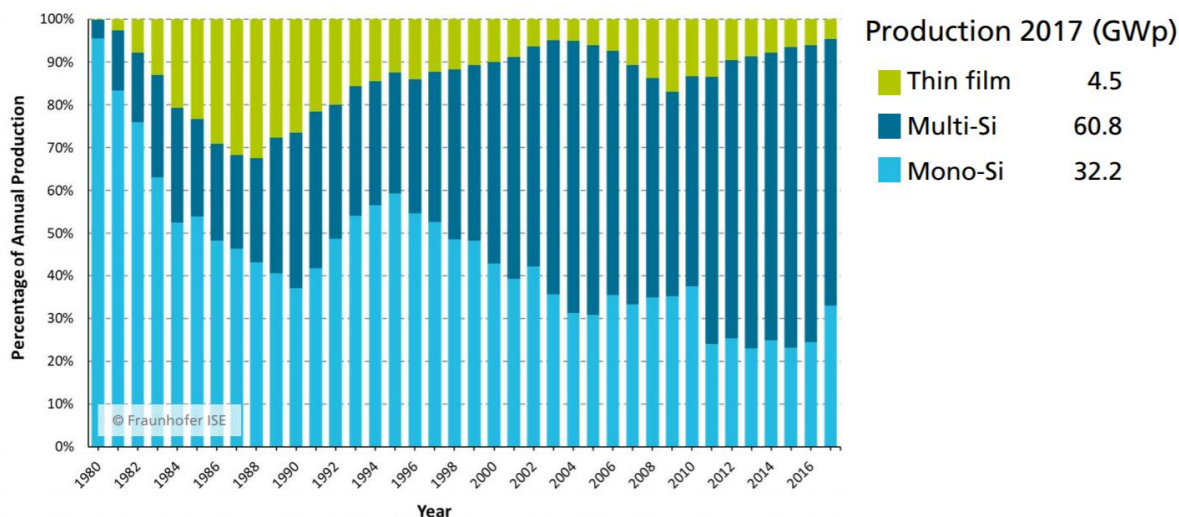
Gráfico 2 – Eficiência de células e módulos em laboratório por tecnologia



Fonte: Fraunhofer (2019)

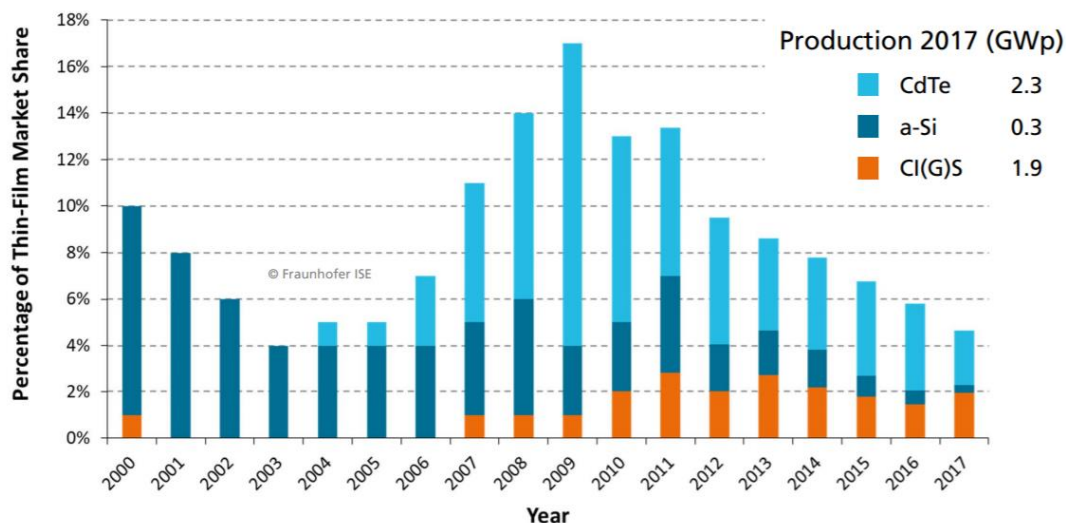
As tecnologias de células fotovoltaicas apresentadas até o momento são as mais presentes no mercado. Segundo o Instituto Fraunhofer (2019), em 2017, 62% da produção era com base na tecnologia de silício policristalino, 33% com silício monocristalino e somente 5% com filmes finos, como pode ser visto no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Produção fotovoltaica mundial anual por tecnologia



Fonte: Fraunhofer (2019)

Dentro do mercado de filmes finos, por sua vez, 51% da produção baseou-se na tecnologia de CdTe, 42% na tecnologia CGIS e somente 7% utilizou a tecnologia de Si-a, como pode ser observado no Gráfico 4.

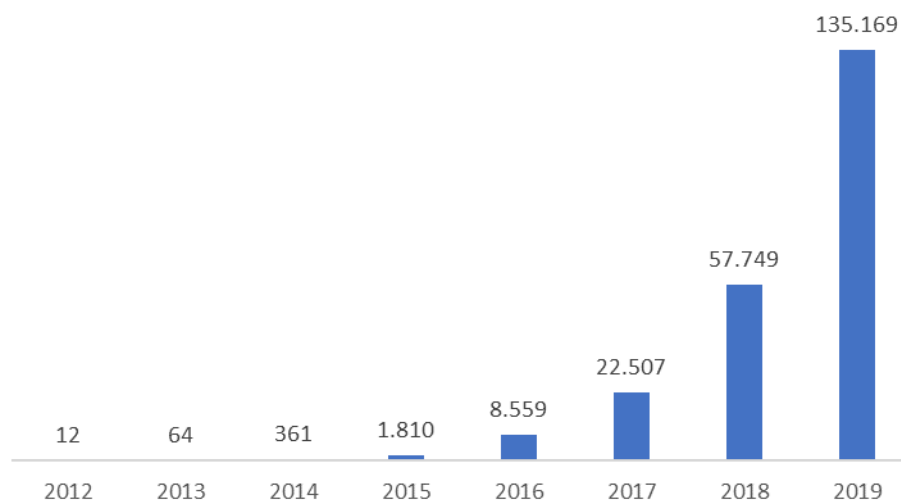
Gráfico 4 – Divisão de mercado por tecnologias de filme fino

Fonte: Fraunhofer (2019)

2.1.3 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

A aplicação de sistemas fotovoltaicos pode dar-se de forma isolada (SFI) ou conectada à rede elétrica (SFCR). Os SFI são comumente aplicados em locais sem acesso à rede e contam com baterias para armazenar a energia produzida. Já os SFCR podem ser aplicados em grandes centrais de produção de energia, distante dos grandes centros consumidores, ou juntamente com os pontos de consumo, forma na qual ele se caracteriza como geração distribuída, tendo sua potência limitada à 5 MW, de acordo com a resolução 687 da ANEEL.

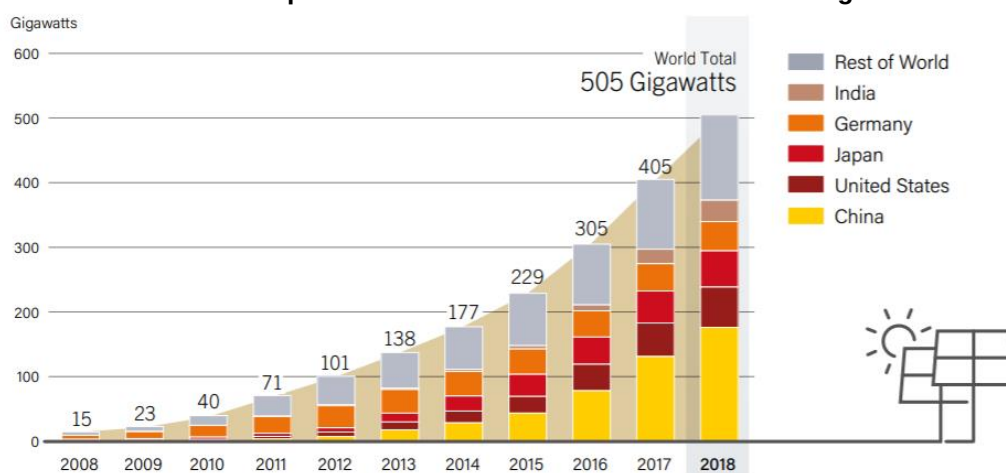
Desde a resolução 482 da ANEEL que regulamentou a conexão de SFCR, houveram a inserção de 135.169 sistemas fotovoltaicos à rede elétrica brasileira na modalidade de geração distribuída, totalizando uma potência instalada de 1.562 MW até o final de outubro de 2019 (ANEEL, 2019), conforme é apresentado no Gráfico 5. Contando com uma média anual de 300% de crescimento, foi um salto expressivo para um mercado inexistente até 2012.

Gráfico 5 – Número total de SFCR no Brasil por ano, até outubro de 2019

Fonte: ANEEL, Unidades Consumidoras com GD (2019)

Na modalidade de geração centralizada, o Brasil conta com 2 GW de potência instalada de centrais solares fotovoltaicas, sendo que esse montante representa somente 1,27% da capacidade instalada do país (ANEEL, 2019).

Se por um lado, o crescimento do setor dentro do mercado brasileiro é expressivo, ao compará-lo com os dados globais, fica claro que o Brasil ainda está iniciando a exploração desta fonte de energia. No Gráfico 6, vê-se que em 2018 alcançou-se a soma de aproximadamente 505 GWp de sistemas fotovoltaicos instalados no mundo, enquanto somente em 2019 o Brasil atingiu a capacidade de 3 GWp de sistemas fotovoltaicos instalados.

Gráfico 6 – Capacidade fotovoltaica instalada acumulada global

Fonte: REN21 (2019)

O avanço da implantação de SFCR pode trazer uma série de benefícios para o sistema elétrico brasileiro. Primeiramente, por atuar próximo ao ponto de consumo, os SFCR podem minimizar a carga no sistema de distribuição, sobretudo em instalações conjuntas com o comércio ou a indústria. A ABINEE (2012) cita como exemplo o caso da concessionária de energia Light, onde o pico da carga ocorre por volta das 14h no horário de verão, no Rio de Janeiro, devido ao maior uso do ar condicionado, situação em que a penetração de geração oriunda de SFCR poderia ser benéfica. Do ponto de vista do consumidor, isso poderia representar uma economia significativa.

É importante ressaltar, também, a possibilidade de aplicação desta tecnologia em locais já disponíveis para uso, como telhados de residências, comércios e indústrias, cobertura de estacionamentos, ginásios e estádios esportivos, sem necessidade de ocupação de novas áreas úteis.

Além disso, SFCR possuem uma característica de instalação modular, podendo ser rapidamente implantados, se comparado com outras tecnologias de geração como centrais hídricas, nucleares ou termoeletricas. Dessa forma, os mesmos podem representar uma solução viável e rápida para atender o crescente aumento da demanda energética.

Dentro do contexto do setor elétrico, os SFCR podem contribuir para a redução dos fatores de emissão do setor, ponto que será abordado no próximo tópico, além de contribuir para manter a característica renovável da matriz energética brasileira.

Outro ponto positivo no desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica é na geração de empregos. De acordo com ABSOLAR (2019), são gerados de 25 a 30 empregos à cada MW de capacidade fotovoltaica instalado por ano, no Brasil, nas áreas de instalação, fabricação, vendas e distribuição, desenvolvimento de projetos, entre outros. Além do mais, a energia solar, dentre as renováveis, é o segmento que mais emprega no mundo, sendo que em 2017, gerou 3,365 milhões de empregos, conforme é apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Índice de geração de emprego de diversas tecnologias de energias renováveis

Empregos gerados pela tecnologia da energia renovável (2017)



Fonte: ABSOLAR (2018)

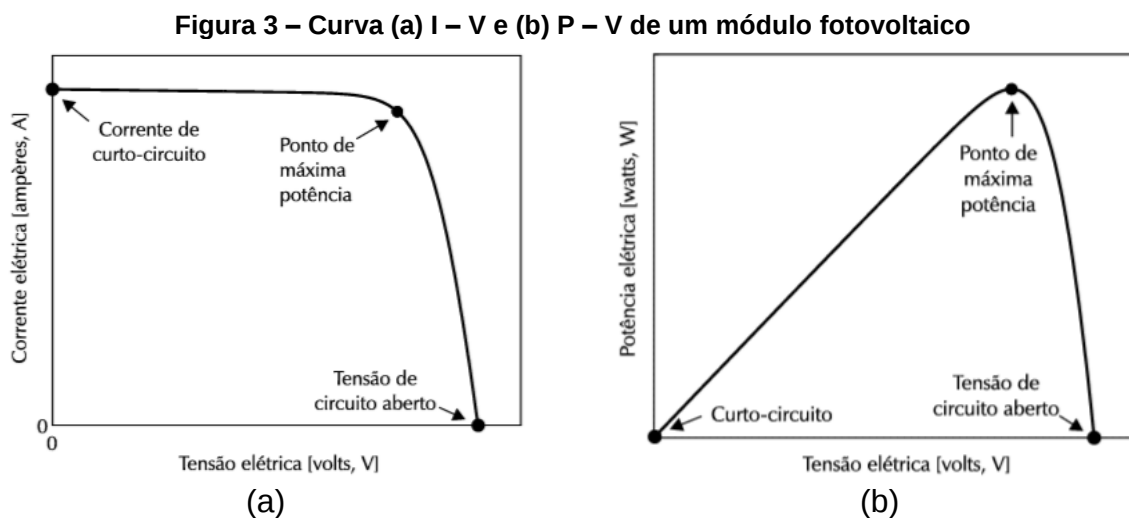
Por fim, destaca-se sua simplicidade, uma vez que estes sistemas são constituídos basicamente por módulos fotovoltaicos, inversor, elementos de proteção e conexão, bem como estruturas para sustentação dos módulos. A seguir, será apresentado sucintamente cada um destes elementos.

2.1.3.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos por uma série de células fotovoltaicas, que por sua vez, são organizadas de forma a aumentar os valores de tensão e correntes fornecidas pelo módulo. Os módulos usados com maior frequência em SFCR, atualmente, possuem em torno de 60, 72 ou 144 células.

Estas células são conectadas eletricamente entre si, e são prensadas dentro de lâminas plásticas, de forma a garantir a estanqueidade do produto. Este conjunto é, então, coberto por uma lâmina de vidro com uma moldura de alumínio, assegurando a resistência mecânica dos módulos. Por fim, é anexado na parte traseira do módulo uma caixa de conexões elétricas, onde é conectado os cabos elétricos que permitem os arranjos entre vários módulos (VILLALVA, 2012).

Segundo Villalva (2012), o ponto de operação de um módulo fotovoltaico, ou seja, o valor de tensão e corrente entregue por ele, varia dependendo do que está conectado em seus terminais. Na Figura 3 é apresentado a curva $I - V$ e $P - V$, sendo destacado o ponto de corrente de curto-circuito, ponto de máxima potência e tensão de circuito aberto de um módulo.



Fonte: Villalva (2012)

Na sequência, segue uma relação destes dados, os quais são relevantes para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico:

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): é a corrente medida em ampères (A), quando ambos os terminais do módulo estão em curto-circuito. Nesta situação a tensão elétrica do módulo é nula e a corrente alcança seu valor máximo.
- Tensão de circuito-aberto (V_{oc}): é a tensão medida em volts (V), quando seus terminais estão em aberto, ou seja, sem carga. Neste cenário, a corrente elétrica é nula e a tensão alcança seu máximo valor.
- Ponto de máxima potência (P_{max}): é o ponto correspondente ao qual o módulo é capaz de fornecer o máximo de sua potência, medida em watts (W). Idealmente, deve-se operar neste ponto, onde sua produção é maximizada.
- Tensão de máxima potência (V_{mp}): é a tensão elétrica medida quando o módulo está operando no ponto de máxima potência.
- Corrente de máxima potência (I_{mp}): é a corrente elétrica medida no ponto de operação de máxima potência.

- Eficiência do módulo (η): é a taxa (%) com a qual o módulo possui a capacidade de converter a energia proveniente da irradiância solar em energia elétrica por unidade de área.
- Coeficiente de temperatura P_{max} : indica a redução percentual de potência, para cada grau de aumento da temperatura acima da temperatura padrão de operação da célula fotovoltaica.
- Coeficiente de temperatura V_{oc} : indica a redução percentual de tensão do módulo, para cada grau de aumento da temperatura acima da temperatura padrão de operação da célula fotovoltaica.
- Coeficiente de temperatura I_{sc} : indica o aumento percentual da corrente do módulo, para cada grau de aumento da temperatura acima da temperatura padrão de operação da célula fotovoltaica.

Todas estas características são apresentadas na folha de dados de um módulo fotovoltaico, em condições padrão de teste (STC – *Standard Test Conditions*). São condições específicas nas quais os fabricantes realizam os testes, padronizadas por entidades internacionais de certificação. A condição STC considera irradiância solar de 1.000 W/m^2 e a temperatura de operação da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (VILLALVA, 2012).

Para configuração de sistemas fotovoltaicos, diversos módulos são conectados em série e/ou paralelo, de forma a atender os requisitos de operação do inversor de frequência. Cada conjunto de módulos em série é chamado de *string*. As conexões em série têm como objetivo aumentar o nível de tensão de trabalho, enquanto as conexões em paralelo, aumentam o nível de corrente disponibilizado ao inversor.

2.1.3.2 Inversores de frequência

A principal função de um inversor de frequência é converter de corrente contínua em corrente alternada a energia proveniente dos módulos fotovoltaicos, de forma que esta energia atenda aos requisitos da rede elétrica podendo, então, ser injetada na mesma.

Figura 4 – Inversor Fronius Primo



Fonte: Fronius (2019)

À seguir, segue algumas das principais características dos inversores de frequência, sujeitas à análise durante a concepção de um projeto de sistema fotovoltaico (VILLALVA, 2012):

- Faixa de tensão contínua de entrada: é o intervalo de valores de tensão de entrada na qual o inversor consegue operar rastreando o ponto de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracker*), maximizando assim a produção de energia dos módulos fotovoltaicos. No dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, a tensão de operação de um conjunto de módulos tem que ser superior à tensão mínima de operação do inversor, e inferior à tensão máxima de operação do mesmo. Caso a tensão do conjunto de módulos esteja fora deste limite, a eficiência do sistema pode ser reduzida.

$$V_{mpmin} \leq V_{mpstring} \leq V_{mpmax} \quad (1)$$

- Máxima tensão contínua de entrada: é o valor limite de tensão admissível na entrada do inversor. Esta tensão está relacionada a tensão de circuito aberto do conjunto de módulos ($V_{ocstring}$), e limita o número máximo de módulos em série que é possível conectar em uma *string*. Caso este valor não seja respeitado, o equipamento fica sob risco de ter seus componentes eletrônicos internos danificados.

$$V_{ocstring} \leq V_{max} \quad (2)$$

- Máxima corrente de entrada por MPPT: é o valor limite da corrente de operação que pode ser injetado no inversor. Este valor está relacionado a corrente máxima de operação do arranjo fotovoltaico conectado na entrada do inversor.

$$I_{mpstring} \leq I_{dcmax} \quad (3)$$

- Máxima corrente de curto circuito por MPPT: é o valor limite de corrente de curto circuito que pode ser injetado no inversor. Este valor está relacionado a corrente de curto circuito do arranjo fotovoltaico conectado na entrada do inversor.

$$I_{scstring} \leq I_{scmax} \quad (4)$$

- Número de entradas independentes com MPPT: os inversores fotovoltaicos podem ser equipados com mais de um sistema de rastreamento do ponto de máxima potência dos módulos. Caso haja mais de uma entrada MPPT, é possível otimizar a produção de energia de conjuntos fotovoltaicos com diferentes configurações elétricas, ou com posicionamento ou inclinações diferentes.
- Máxima potência contínua de entrada: alguns inversores podem operar com uma potência de entrada em corrente contínua superior à sua potência nominal de operação. Isso pode ocorrer, de forma a maximizar a curva de geração do sistema, ao permitir que o mesmo injete mais energia ao longo do tempo. Por outro lado, ao se atingir a potência nominal do inversor, ele limita a energia entregue para a rede elétrica.
- Frequência da rede elétrica: é o valor de frequência na qual o inversor pode operar. Geralmente, os equipamentos comerciais são capazes de operar em ambas as redes de 50 e 60 Hz.
- Tensão de operação para conexão com a rede elétrica: é a tensão nominal na qual os inversores podem ser conectados com a rede. Os

equipamentos comerciais são, geralmente, disponibilizados com configurações monofásicas 220 V, ou trifásicas 220 ou 380 V.

2.1.3.3 Elementos de conexão e proteção

Dentro os elementos de conexão e proteção de sistemas fotovoltaicos, encontramos os cabos de corrente contínua, os cabos de corrente alternada e a caixa de proteção, também conhecida como *string-box*.

Os cabos de corrente contínua são aplicados nos sistemas fotovoltaicos para conectar os módulos e o inversor. Já os cabos de corrente alternada permitem conectar o inversor com a rede elétrica. Em ambos os casos, deve-se cumprir os critérios e exigências da ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas em Baixa Tensão, para dimensionamento destes condutores.

A *string-box*, por sua vez, é um elemento tanto de conexão, quanto de proteção de sistemas fotovoltaicos, uma vez que nela pode ser feito o paralelismo de diversas *strings* de um arranjo fotovoltaico. Além disso, ela pode contar com os seguintes elementos de proteção:

- Fusíveis de corrente contínua: segundo a IEC 60364, em conjuntos fotovoltaicos com até duas *strings* em paralelo, não é necessário empregar fusíveis para proteção de sobrecorrente. Caso haja mais de duas *strings*, é necessário utilizar fusíveis para proteção contra a corrente reversa dos módulos. Esta norma, ainda especifica que estes fusíveis devem ser do tipo gPV, específicos para aplicação em sistemas fotovoltaicos.
- Elemento de interrupção: obrigatório de acordo com o módulo 3 do PRODIST. Este dispositivo, pode ser tanto um disjuntor ou seccionadora de corrente contínua. Cabe ressaltar, que alguns inversores já possuem este elemento em sua composição, ficando a critério de cada projetista definir se insere em seu sistema uma *string-box* com mais este elemento.
- Dispositivo de proteção contra surto (DPS): destinados a limitar ou atenuar surtos de tensão, de forma a proteger determinados equipamentos. Segundo a IEC 61643-31, é obrigatório o uso de DPS Tipo II em instalações fotovoltaicas sem sistemas de proteção contra

descargas atmosféricas (SPDA), e DPS Tipo I e II em instalações em que haja a presença de SPDA.

2.1.3.4 Estruturas para sustentação dos módulos

Os sistemas de fixação para instalações fotovoltaicas variam em função das características do local de instalação, seja ele em telhado ou solo, da configuração da instalação e dos módulos utilizados.

Independente do modelo, é obrigatório que estas estruturas:

- Sejam projetadas para suportar a carga dos módulos, atendendo a ABNT NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.
- Sejam projetados para suportar a carga dos ventos, atendendo a ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.
- Utilizem em sua composição materiais resistentes a corrosão e as intempéries.

2.1.3.5 Legislação para micro e minigeração no Brasil

No Brasil, a conexão de micro e minigeração de SFCR foi regulamentado pela Resolução da ANEEL nº 482, de 2012, sendo posteriormente modificado pelas Resoluções nº 687 em 2015 e nº 786 em 2017. Através destas resoluções, permitiu-se aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico para injetar o excedente de energia, que é convertido em crédito válido por 60 meses.

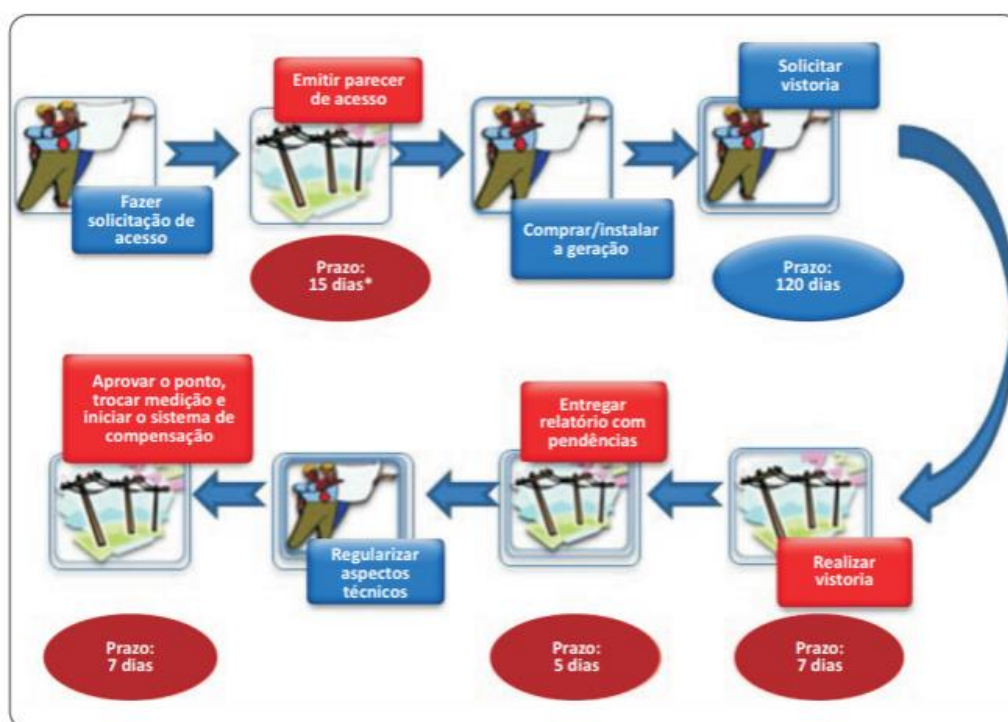
A compensação dos créditos de energia pode ser feita para abater do consumo da própria unidade consumidora, ou de outras unidades, cujo titular seja a mesma pessoa física ou mesma pessoa jurídica, desde que atendidos pela mesma concessionária de energia. A ANEEL (2016), define as outras possibilidades de uso dos créditos, quando a compensação não se dá unicamente na própria unidade consumidora onde é feita a conexão da GD, conforme as seguintes categorias:

- Geração compartilhada: consiste na reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa, seja pessoa física ou jurídica, desde que atendidos pela mesma concessionária de energia;

- Autoconsumo remoto: onde unidades consumidoras de mesmo CPF ou CNPJ, recebem os créditos de energia de GD instalada em local distinto das próprias unidades consumidoras;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): onde cada usuário se constitui como uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento com GD.

Segundo a ANEEL (2012), as centrais geradoras são classificadas como sendo de microgeração, se sua potência for menor ou igual a 75 kW, ou minigeração se sua potência for superior a 75 kW e inferior a 5 MW.

Figura 5 – Procedimentos e etapas de acesso de micro e minigeração



Fonte: ANEEL (2016)

Os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de elétrico, são definidos pela seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica ao Sistema Elétrico Nacional). As etapas do procedimento são especificadas na Figura 5.

Cada concessionária de energia possui sua própria norma de micro e minigeração distribuída, e processo próprio para solicitação de acesso e envio da

documentação. Na COPEL, a norma aplicável é a NTC 905200, e a solicitação de acesso se dá através do sistema PEW (Projeto Elétrico WEB), anexando no mesmo documentos listados conforme é apresentado na sequência:

- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de projeto e instalação;
- Certificado de conformidade do inversor, ou número de registro da concessão do INMETRO, para inversores com potência até 10 kW;
- Diagrama unifilar e memorial descritivo da instalação;
- Dados necessários para registro da central geradora no site da ANEEL;
- Lista das unidades consumidoras participantes no sistema de compensação (se houver), indicando a porcentagem e rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução 482/2012;
- Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso e solidariedade entre os integrantes (se houver);
- Pode ser solicitado, à critério da COPEL, a licença ambiental, ou dispensa, emitida por órgão competente, não sendo exigida para empreendimentos fotovoltaicos instalados sobre telhados.

2.1.4 Potencial de Redução de CO₂ de Sistemas Fotovoltaicos

Para poder avaliar a taxa de emissões de cada tecnologia, normalmente se considera os fatores de emissão. No Brasil, a metodologia proposta pelo IPCC considera as emissões geradas no momento da queima do combustível e as emissões fugitivas relacionadas à exploração de fontes primárias de energia (conversão em eletricidade, transmissão e distribuição dos combustíveis, entre outros). Assim, os fatores de emissão são diretamente ligados ao tipo de combustível utilizado. Miranda (2012) indica, por outro lado, que ao utilizar a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a quantificação das emissões de GEE se torna mais ampla e completa, pois além das emissões causadas pela operação da tecnologia, também se avalia as etapas de extração, processamento e utilização da matéria-prima, e do planejamento, construção e até desativação das plantas produtoras.

Para poder quantificar o uso de fontes renováveis de energia, como eólica e hidroeletricidade, é então necessário utilizar este tipo de metodologia. Nestas tecnologias, segundo Miranda (2012), a emissão ocorre geralmente nas fases anteriores a geração de eletricidade, porém podendo chegar em até 90% do ciclo total. As usinas hidrelétricas são um bom exemplo para verificar a falha da metodologia do IPCC, pois não é quantificado as emissões dos reservatórios e as fases de construção da usina.

Em sua pesquisa, Miranda (2012) identificou, através da ACV, os fatores de emissão de GEE, em função do tipo de geração, para o Sistema Interligado Nacional (SIN) com base no ano de 2010. Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 1 – Fatores de emissão de GEE das tecnologias de geração de eletricidade

Tecnologia	Fator de Emissão (gCO₂eq/kWh)
Hidroeletricidade	86
Eólica	16
Nuclear	14
Termo - Carvão Mineral	1.144
Termo - Gás Natural	518
Termo - Óleo Combustível	781
Termo - Óleo Diesel	829

Fonte: Miranda (2012)

Quando a pesquisa de Miranda (2012) foi desenvolvida, os sistemas fotovoltaicos ainda não eram aplicados ao SIN brasileiro. Porém, o fator de emissão para este tipo de tecnologia pode ser encontrado na pesquisa realizada por Campos (2016). Nesta pesquisa, também foi apresentado o fator de emissão para centrais termelétricas à biomassa. Para esta última, vários tipos de tecnologia são expostos, sendo apresentado aqui a média destes fatores.

Tabela 2 – Fatores de emissão de GEE para geração de eletricidade com sistemas fotovoltaicos e à biomassa

Tecnologia	Fator de Emissão (gCO₂eq/kWh)
Silício monocristalino	70,7
Silício policristalino	63,7
Silício amorfo	38,9
Biomassa	76,25

Fonte: Campos (2016)

Através dos dados expostos, fica claro que a energia solar se apresenta como uma das principais tecnologias de geração de energia com potencial de redução dos GEE, ficando atrás somente da energia eólica e nuclear.

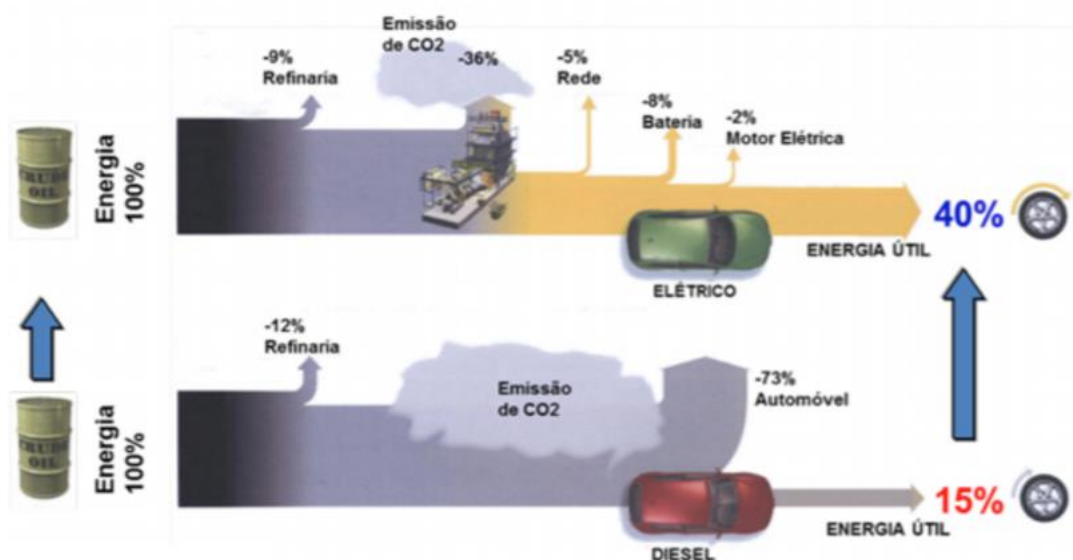
Uma matriz energética de geração de eletricidade de um país deve ser diversificada, de forma a minimizar as características negativas de cada fonte, como é o caso da intermitência para a energia solar e eólica, e potencializar os benefícios de cada fonte de geração. Entretanto, dado o baixo fator de emissão de CO₂ da energia solar fotovoltaica, frente aos somente 1,27% de presença na matriz elétrica brasileira, segundo os dados da ANEEL (2019), bem como a alta incidência de radiação solar no território brasileiro, fica claro o vasto potencial desta fonte de geração enquanto solução para minimizar a emissão de GEE no setor elétrico brasileiro.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Segundo Junior (2011), o veículo elétrico é caracterizado pela utilização de motor elétrico no lugar do motor de combustão interna destinado à propulsão, sendo que o motor elétrico pode ser responsável completamente ou em parte para a propulsão. O combustível dos VE é a eletricidade, que pode ser obtida de diferentes maneiras, e a qual é armazenada em baterias, responsáveis por alimentar o motor elétrico.

O uso de motores elétricos em veículos, confere a eles diversas vantagens. Dentre elas, vale destacar a maior eficiência destes em relação aos veículos tradicionais. Em uma análise do tanque à roda (TTW – *Tank to Wheel*), que leva em conta desde o abastecimento do veículo com combustível até a conversão em energia mecânica propriamente dita, Costa (2018) aponta que para os veículos baseados à combustão interna (VCI), a eficiência é de somente 18 a 25%, enquanto que os VE possuem uma eficiência de 65 a 82%. Já em uma análise do poço à roda (WTW – *Well to Wheel*), que leva em conta desde a extração da matéria prima para produção do combustível até a conversão em energia mecânica propriamente dita, o VE apresenta uma eficiência de até 40%, enquanto no VCI, essa eficiência é de somente 15% (NOVAIS, 2016).

Figura 6 – Análise WTW de eficiência: Diesel vs Veículo Elétrico



Fonte: Novais (2016)

Isso significa que, com o mesmo recurso, o veículo elétrico pode percorrer quase que 2,7 vezes a mesma distância do que um veículo convencional. Também é possível concluir que, mesmo levando em consideração que os VE sejam abastecidos com eletricidade oriunda de recursos fósseis, ainda assim o uso dos recursos se daria de uma forma mais eficiente, uma vez que se utilizaria menos recursos para percorrer a mesma distância.

Outro ponto positivo apontado com frequência, é o fato de que veículos elétricos não emitem poluição durante sua operação, o que resulta em uma melhoria na qualidade do ar das cidades e menos riscos para a saúde. A única emissão de poluentes, se dá no momento de produção da eletricidade para abastecer estes veículos.

A menor emissão de poluentes, garante ao país o cumprimento das metas ambientais. Por sua vez, a redução da dependência de recursos fósseis, também garante ao país uma estabilidade ao setor energético, uma vez que diminui os riscos externos atrelados a política energética mundial.

Do ponto de vista do consumidor, Costa (2016) ainda aponta que os motores dos VE são mais simples, possuem menos peças e menos necessidade de lubrificação do que os VCI, o que resulta em custos de manutenção 60% inferiores aos veículos convencionais.

Para o consumidor, o custo de deslocamento também apresenta um enorme potencial de economia. Para efeito de comparação, na Tabela 3 é apresentado uma

análise para percorrer 235 km com o BMW I3, que é a autonomia oferecida pelo veículo.

Tabela 3 – Comparação dos Custos de Deslocamento BMW I3 e um VCI

Tecnologia	VCI	BMW I3
Autonomia	12,00 km/l	7,63 km/kWh
Demanda	19,58 l	30,79 kWh
Custo (R\$/l x R\$/kWh)	4,25 R\$/l	0,80 R\$/kWh
Gasto (R\$)	R\$ 83,23	R\$ 24,63

Fonte: Elaborado pelo autor

Levando em consideração um VCI com autonomia de 12 km/l, o custo da gasolina a R\$ 4,25, e o do kWh a R\$ 0,80, o BMW I3 apresenta uma economia de 70% para percorrer os 235 km, frente a um veículo convencional.

Dentre as desvantagens dos VE, é possível citar o alto investimento para aquisição, o baixo número de modelos disponíveis no mercado brasileiro, a baixa autonomia em comparação com VCI, o tempo de carregamento e a falta de disponibilidade de infraestrutura de carregamento. Todos estes problemas tem a tendência de serem minimizados ao longo do tempo, conforme o mercado for ganhando mais maturidade.

De fato, Falcão, Teixeira e Sodré (2017) indicam, em seu estudo, que o custo total de propriedade do VE é 2,5 vezes maior do que veículos convencionais, sendo que os custos de aquisição e da bateria são os principais responsáveis pelos altos valores. Sob o cenário avaliado, a viabilidade dos VE só poderia ser obtida através de incentivos governamentais e da consideração de rendas provenientes de uso comercial.

2.2.1 Tecnologias de Veículos Elétricos

Um estudo elaborado pela FGV Energia (2017), classificou os principais tipos de VE conforme segue:

- Os veículos elétricos puros (BEV – *Battery Electric Vehicles*): cuja fonte de energia é a eletricidade, que é armazenada em baterias internas e alimenta o motor. Por utilizar exclusivamente eletricidade, são considerados veículos completamente elétricos (AEV – *All Electric Vehicles*). Todos os BEV são considerados *Plug-in Electric Vehicles* (PEV), uma vez que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa.

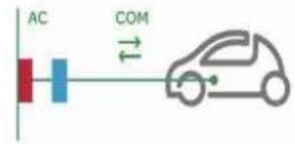
- Os veículos elétricos híbridos: são aqueles que utilizam para propulsão, tanto o motor à combustão interna quanto o motor elétrico. Ainda podem ser classificados como em série, no qual apenas o motor elétrico é utilizado para mover o veículo, com o motor à combustão interna fornecendo eletricidade ao motor elétrico; ou paralelo, onde ambos os motores são usados para a propulsão. Finalmente, os híbridos podem ser de três tipos
 - Híbrido puro (*HEV – Hybrid Electric Vehicle*): onde o motor principal que propulsiona o veículo é à base de combustão interna. O motor elétrico tem como fim melhorar a eficiência do motor à combustão interna, ao fornecer tração em baixa potência. A eletricidade para o motor elétrica é fornecida pelo sistema de frenagem regenerativa do veículo. O HEV é um híbrido paralelo.
 - Híbrido plug-in (*PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle*): o motor principal também é o motor à combustão interna. Porém, o motor elétrico deste veículo pode receber eletricidade de uma fonte externa. O PHEV é um híbrido paralelo.
 - Híbrido de longo alcance (*E-REV – Extended Range Electric Vehicle*): o motor principal é o motor elétrico, com o motor à combustão interna fornecendo energia capaz de alimentar a bateria, mantendo a mesma em um nível mínimo de carga. Dessa forma, uma autonomia estendida é conferida ao veículo. O E-REV é um híbrido série.
- Os veículos elétricos movidos à célula combustível (*FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles*): que combinam hidrogênio e oxigênio para produzir eletricidade, responsável pelo funcionamento do motor. Durante a conversão do hidrogênio em eletricidade, somente água e calor resultam do processo, o que garante a não emissão de poluentes na utilização. Porém, as tecnologias comerciais atuais para produção de hidrogênio utilizam o gás natural, o que aumenta o fator de emissão de GEE desta solução. Comparado aos outros tipos de VE, o FCEV possui autonomia similar aos veículos movidos à combustão interna, na faixa dos 300 a 500 km, como gasolina e diesel.

2.2.2 Tecnologias de Recarga

De acordo com Arioli (2016), uma estação de recarga de um VE, também conhecida como eletroposto (EP), é um dispositivo que faz a interface entre o VE e a rede elétrica, fornecendo energia em corrente alternada (CA) ou contínua (CC), especificamente para a recarga da bateria de um VE. Com isso, pretende-se otimizar a recarga do veículo, aumentar a segurança e reduzir o risco durante o processo de carregamento.

A ABNT NBR IEC 61851-1:2013, define os modos de carga da seguinte forma:

Tabela 4 – Modos de carga de veículos elétricos

Modo	Características Elétricas	Observações
Carga 1 	Até 16 A 250 V – monofásico/ 480V – trifásico CA 2,3 kW	Tomada padrão, sem interface de proteção, ou de comunicação entre o VE e a rede elétrica. Assim, aconselha-se o uso do terra e de um disjuntor diferencial residual (DDR) por questões de segurança. Capacidade limitada à 2,3kW. Modo proibido nos EUA, pois nem todas as instalações americanas possuem aterramento local. Tempo de recarga: até 8h.
Carga 2 	Até 32A 250 V – monofásico/ 480V – trifásico CA 7,4 kW – monofásico 22 kW – trifásico	Tomada padrão, com um cabo específico, conhecido como <i>in-cable control box</i>, que contém DDR e condutor de aterramento de proteção com função piloto, verificando a integridade do plugue e desabilitando a tensão caso o VE não esteja conectado. A maioria dos VE comerciais fornece cabos deste modo, para recargas ocasionais ou emergenciais. Tempo de recarga: de 1 a 8h.
Carga 3 	Até 63 A 250 V – monofásico/ 480V – trifásico CA De 22 a 43 kW	Composto por uma estação de recarga CA, tem como objetivo garantir a segurança dos usuários durante a recarga, mesmo na ocorrência de falhas humanas ou nos dispositivos. A capacidade de carregamento adequada é determinada por comunicação entre o VE e a estação. É o modelo mais utilizado e, também, considerado mais adequado para recarga de VE. Cabo de carga com plugue, conforme IEC 61296-2. Não precisa do <i>in-cable control box</i>, porque os dispositivos de proteção constituem parte fixa da estação de recarga. Tempo de recarga: de 1 a 8h.

Modo	Características Elétricas	Observações
Carga 4 	De 50 kW a 175 kW (capacidades superiores estão sendo desenvolvidas)	É aplicado para recargas rápidas em corrente contínua. A conversão de CA para CC é feita na estação de recarga. O cabo faz parte da estação neste caso. Modo inadequado para residências, em função da infraestrutura robusta e cara, sendo aconselhado para instalações ao longo de rodovias. Tempo de recarga: 15min.

Fonte: Elaboração própria, adaptado dos autores Arioli (2016), Gatton (2018) e ABNT NBR IEC 61851-1:2013

Nos modos 1, 2 e 3, o carregamento se dá através de um conversor dentro do veículo, responsável por transformar a energia CA proveniente do EP, ou diretamente da rede, em energia CC capaz de carregar as baterias. O processo de carregamento nestes casos, é controlado pelo veículo. A capacidade do conversor determina quanto da capacidade de carregamento do EP pode ser utilizada (NL Energy Enterprise, 2019).

Plugues e tomadas são tratados na série de normas ABNT NBR IEC 62196. Na Figura 6, são apresentados os diferentes tipos de plugues comercializados atualmente.

Figura 7 – Tipos de plugues de carros elétricos

Tipo 1 – SAE J1772	Tipo 2 – Mennekes Plug	Chademo	CCS Combo	GB-T	Tesla SC
					
Plugue monofásico, usado em modelos de carros japoneses e americanos	Plugue trifásico, considerado o modelo padrão na Europa	Sistema de recarga rápida desenvolvido pelo Japão	Versão aprimorada do plugue Tipo 2, com contatos adicionais de potência, para carregamento rápido	Similar ao plugue Tipo 2, mas com conectores macho adicionais	Versão modificada do plugue Tipo 2
Nissan Leaf Chevrolet Volt/Bolt	Renault Zoe BMW i3 BMW i8 JAC iEV 40	Nissan Leaf Peugeot iON	BMW i3 GM Chevy Spark EV	JAC iEV 40	Tesla Model S

Fonte: Reuters (2018), adaptado pelo autor

Segundo Arioli (2016), o plugue padrão Tipo 1 é o padrão de conexão de VE definido nos EUA pela norma SAE (*Society of Automotive Engineers*) J1772. É um

conector monofásico, operando em 120V e corrente máxima de 16 A (1,9 kW), para uso em recargas residenciais; ou 240 V e corrente máxima de 80 A (19,2 kW), para uso em estações de recarga públicas. Possui 5 pinos, sendo 2 para alimentação CA, um para o terra, um para detecção de proximidade e um para controle piloto (responsável por transportar dados entre o carro e o EP, indicando quanto de corrente é necessário).

O plugue padrão Tipo 2, também conhecido como Mennekes plug e originalmente desenvolvido na Alemanha, atende os requisitos da norma ABNT NBR IEC 62196-2. Adequado para conexões monofásicas ou trifásicas, permite correntes de recarga entre 13 e 63 A, com potências variando entre 3,7 a 44 kW. Possui 7 pinos, sendo 3 para alimentação CA, um para o neutro, um para o terra, um para detecção de proximidade e um para o controle piloto.

O padrão CHADEMO (*Charge de Move* – Recarga para movimento) foi desenvolvido no Japão, em uma parceria entre a Nissan, Mitsubishi, Toyota, dentre outras empresas. Foi desenvolvido com o objetivo de atender o Modo de carga 4, destinado a recargas rápidas de VE, podendo alcançar potências de até 62,5 kW, em tensão CC. Possui 10 pinos, sendo 2 para alimentação CC, 2 para comunicação, um para controle de recarga, um para o terra, um para detecção de proximidade, 2 para os relés de controle do VE, e um livre de atribuição. Normalmente, veículos compatíveis com este padrão de plugue, também possuem um plugue Tipo 1, para recarga lenta.

O plugue CCS Combo (*Combined Charging System*), por sua vez, foi concebido pela SAE e pela IEC, com o objetivo de permitir uma recarga rápida tanto em CC quanto em CA, seja ela monofásica ou trifásica, de forma que seja possível utilizar a maioria dos atuais EP, permitindo a implantação de uma infraestrutura de recarga comum aos diversos modelos de VE (ARIOLI, 2016). Existem ainda duas variantes deste modelo:

- CCS Combo Tipo 1: composto na parte superior pelo padrão SAE J1772 (Tipo 1) para recarga CA até 19 kW; e na parte inferior por 2 entradas específicas para recarga rápida em CC, permitindo até 500 V e 200 A de capacidade (100 kW).
- CCS Combo Tipo 2: composto na parte superior pelo padrão Mennekes (Tipo 2), e na parte inferior pelas mesmas 2 entradas CC para recarga rápida.

Já o padrão GB-T foi desenvolvido para recarga de VE na China, sendo similar ao padrão Tipo 2. Permite conexões monofásicas, sendo que sua corrente de recarga é limitada a 32 A (ARIOLI, 2016).

Finalmente, o padrão de plugue da Tesla baseia-se no padrão Mennekes Tipo 2, porém utilizando o mesmo para recarga rápida de VE em CC. Este padrão funciona unicamente com os carros da própria fabricante Tesla.

2.2.3 Efeitos Ambientais dos Veículos Elétricos

O uso de VE, como já mencionado, tem o potencial de reduzir os níveis de emissão de GEE, dependendo da fonte utilizada para a recarga do mesmo. Por outro lado, alguns questionamentos são levantados referentes à fabricação do veículo, do descarte deste, bem como de seus itens internos.

Ao se levar em consideração a ACV, segundo a UCS - *Union of Concerned Scientists* (2015), os VE geram menos da metade das emissões de GEE, ao longo de sua vida útil, do que os VCI movidos a gasolina, ainda que levando em consideração as emissões causadas pelo processo de fabricação das baterias. O estudo considerou dois modelos de VE populares no mercado americano, o Nissan Leaf e o Tesla Model S, sendo alimentados pela matriz elétrica americana, comparando os mesmos com um VCI com autonomia de 12,3 km/l.

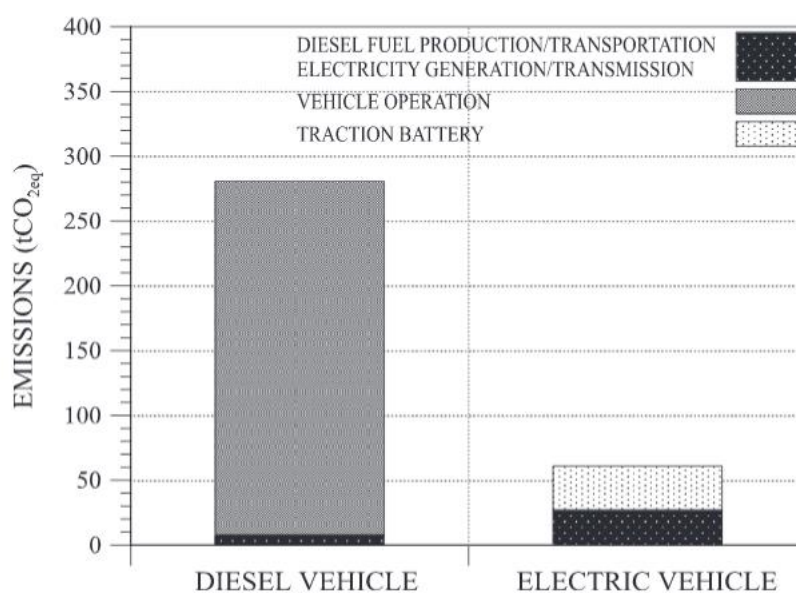
A UCS (2015) aponta, ainda, que em uma matriz elétrica composta por 80% de eletricidade renovável, como é o caso da matriz elétrica brasileira, fabricar um VE resultaria em 25% de redução nos níveis de emissões atrelados à produção e 84% às emissões atreladas ao uso. Vale notar que em 2015, ano de divulgação do estudo, a matriz elétrica americana possuía uma participação de somente 13% de fontes renováveis na produção de eletricidade.

Segundo Chrispim, Souza e Simões (2019), cerca de 85 a 90% das emissões de um veículo movido a gasolina, quando levado em consideração a ACV, estão atreladas a etapa de operação. Em comparação, em um VE, 70% das emissões são relacionadas à produção do mesmo, considerando que o mesmo se desloque 426 km por carga. No todo, um veículo médio elétrico levaria 7.884 km para compensar as emissões extras oriundas do seu processo de fabricação, ao se comparar o uso com o veículo à gasolina (UCS, 2015).

Em relação as emissões atreladas ao descarte do VE, Chrispim, Souza e Simões (2019) apontam que elas representam menos de 10% do total das emissões, visto que a maioria dos materiais que compõem o VE podem ser reciclados.

Por sua vez, Falcão, Teixeira e Sodré (2017) analisaram os impactos dos níveis de emissão de CO₂ de uma minivan elétrica, comparando a mesma com uma minivan a diesel, dentro do cenário energético brasileiro. Seus resultados indicam que as emissões do veículo a base do diesel são 4,6 vezes maiores do que a versão elétrica, sendo que a operação do VCI é responsável por 97,3% das emissões, conforme demonstrado na Figura 8. No que se refere ao VE, as emissões atreladas a produção da bateria são responsáveis pela maior parte do total dos impactos causados, representando 55,8% do total.

Figura 8 – Emissões de CO₂ de VE e veículos a base de diesel



Fonte: Falcão, Teixeira e Sodré (2017)

No que tange as baterias, boa parte de suas emissões resultam principalmente da quantidade de energia necessária para sua produção, bem como da extração dos minerais utilizados na produção destes componentes, como: lítio, ferro ou alumínio (CHRISPIM, SOUZA E SIMÕES, 2019). Por outro lado, muitos desses metais também são usados em veículos convencionais, mesmo que em menor quantidade.

Para que o VE seja menos agressivo ao meio ambiente, é necessário, então, que seja melhorado o ciclo de vida das baterias e que seja aumentado a autonomia

dos veículos. Por este motivo, juntamente com o fato de que o lítio é um metal raro, que existe muita pesquisa buscando a substituição deste componente, de forma que seja reduzido o custo dos VE e o impacto destes no meio ambiente.

Finalmente, Chrispim, Souza e Simões (2019) aponta outra possibilidade para diminuir o impacto das emissões atreladas às baterias, na ACV, que é o reuso das mesmas para armazenagem de energia proveniente de fontes renováveis, como a eólica e solar, visto que ao serem descartadas, baterias de VE ainda possuem 75% de suas capacidades originais.

2.3 O FUTURO DOS ESTACIONAMENTOS

Mundialmente, a mobilidade urbana tem sido um setor crítico no que tange ao conforto e qualidade de vida, devido aos constantes engarrafamentos e longos tempos de deslocamentos. No Brasil, isso não é diferente, e é consequência da falta de planejamento que priorize o transporte coletivo frente ao transporte individual (MARIOTTI, 2018).

Historicamente, a priorização do transporte rodoviário iniciou-se na década de 20, sendo que políticas mais agressivas foram implementadas pelo ex-presidente Juscelino Kubitschek, no final dos anos 50, com o objetivo de ampliar a malha rodoviária de forma a interligar e integrar o país, além de atrair empresas e fábricas automobilísticas internacionais para a geração de empregos (SILVA, 2017).

Segundo Pinto (2017), devido à adoção do modelo de transporte rodoviário como modelo predominante, houve um aumento significativo da frota brasileira nos últimos anos. De fato, os dados do IBGE (2019) apontam que a frota brasileira de automóveis aumentou de 27,7 milhões em 2006 para 54,7 milhões em 2018, representando um crescimento de 97%, enquanto a população cresceu somente 12,5%.

De acordo com Mariotti (2018), a multiplicação da frota de veículos causa um verdadeiro caos no trânsito das cidades, onde o excessivo número de veículos contrasta com o reduzido crescimento da estrutura viária brasileira.

Ainda neste contexto, o ato de estacionar os veículos também se tornou um fator crítico para a mobilidade e planejamento urbano. De fato, a busca por um lugar

para estacionar é uma das maiores preocupações que se pode ter durante o uso de veículos, uma vez que veículos ficam parados, em média, 95% do tempo de suas vidas (BRINCO, 2016). De acordo com Pinto (2017), motoristas procurando algum lugar para deixar o carro são responsáveis por até 74% dos congestionamentos em grandes centros urbanos, o que reflete em um consumo ineficiente de combustível e danos ao meio ambiente.

Outro fator crítico intrínseco à disponibilidade dos estacionamentos, está atrelado à subutilização e ocupação do solo. Enquanto terrenos não edificadas são usados como estacionamento em uma área com infraestrutura disponível, lotes para novas construções ficam cada vez mais escassos nas cidades, resultando em invasões e ocupações desordenadas (SIPINSKI E SCHMITZ, 2011). Por fim, áreas utilizadas como estacionamentos, normalmente, não são agradáveis esteticamente, o que provoca na diminuição do trânsito de pedestres na rua onde os mesmos se instalam.

Em função das diversas complexidades atuais do transporte urbano, Brinco (2016) aponta que focar em medidas de mobilidade sustentável possibilitaria aumentar a qualidade de vida urbana, ao reduzir os congestionamentos nas vias, reduzindo também o tempo das viagens e o impacto no meio ambiente, decorrente da diminuição da poluição sonora e das emissões de GEE, além de atenuar o número de acidentes.

Além da necessidade urgente de mudança nos paradigmas do planejamento da mobilidade, existe uma tendência futura na forma como a sociedade interage com os meios de transporte mudar.

Hannon *et al.* (2016) concluem que, de forma geral, o melhor cenário irá combinar mobilidade compartilhada, autônoma e elétrica, integrada com sistemas energéticos e transportes públicos.

Atualmente, algumas características já são percebidas. Por exemplo, Sollitto (2018) relata que, no Brasil, 55,4% dos jovens de 18 a 24 anos não têm habilitação, 41,1% alegam falta de interesse em dirigir, 65,2% acreditam em alternativas de mobilidade urbana e 23,6% apostam em aplicativos de transporte.

Por sua vez, Laufer (2016) sugere 5 tendências futuras que vão impactar na forma de uso e no planejamento dos estacionamentos:

- Carros autônomos vão diminuir a demanda por estacionamento em 90%.
Além disso, o *design* de um estacionamento será alterado, pois carros

autônomos deixarão os usuários nos pontos desejados, de forma que, os locais de estacionamento destes não precisarão do mesmo nível de iluminação ou ventilação, além de poderem ter vagas menores, visto que os veículos poderiam ficar em maior proximidade uns dos outros;

- A internet das coisas vai alterar a dinâmica de estacionamento, ao permitir maior interação entre estes e os usuários, com informações de disponibilidade, preços, recursos, entre outros. De certa forma, isto já é realidade atualmente, com possibilidade de intensificação dos dados no futuro;
- As cidades inteligentes vão resultar em diferentes possibilidades de estacionamentos, com informações sobre ocupação real disponíveis, pagamentos online, preços dinâmicos em função de horários e locais, entre outros;
- Os comportamentos das novas gerações, que não almejam possuir veículos próprios e que estão dispostas a utilizar diferentes alternativas de mobilidade, devido aos custos de propriedade dos veículos. Além disso, as novas gerações estão mais habituadas a tecnologia, inclusive, preferindo lidar com aplicativos para planejar seus deslocamentos;
- O uso de *big data* pelas corporações privadas e entidades públicas, de forma a alterar aspectos urbanos, podendo por exemplo, gerenciar horários de compromissos e eventos de forma a facilitar o tráfego, e equalizar a demanda com a disponibilidade de estacionamentos.

Gautam (2018) indica que possíveis soluções levarão em conta aspectos estéticos dos estacionamentos, inclusive, transformando os mesmos em espaços públicos que possam ser usados pela comunidade para feiras, jogos, exposições, ou eventos sociais, além de agregar funcionalidades de forma que os estacionamentos gerem recursos em vez de consumi-los. Neste aspecto, estacionamentos podem ser planejados para criar sombra, produzir energia, reduzir alagamentos, ou controlar o escoamento de água poluída, reduzir emissões e melhorar a qualidade do ar.

De forma geral, pode-se concluir que a dinâmica de uso dos estacionamentos no futuro será alterada. Isso é, por um lado, uma necessidade visando melhorar a eficiência da mobilidade urbana, e por outro, uma consequência das alterações nos comportamentos das gerações mais jovens. A demanda por estacionamentos tende a sofrer impactos de políticas que limitem a circulação de

veículos, bem como da redução da própria demanda, devido ao menor uso dos mesmos. Além disso, a tendência de eletrificação do setor de transportes implica na necessidade da disposição de infraestrutura de recarga de veículos.

Assim, no lugar de somente dispor de vagas, o planejamento arquitetônico e estrutural de estacionamentos deve levar em consideração os fatos acima mencionados, agregando, também, áreas maiores de embarque e desembarque, para os usuários de aplicativos. A redução da demanda permite, também, a possibilidade de explorar as áreas dos estacionamentos de forma diferenciada, agregando valor ao uso do espaço, seja ele público ou privado.

2.3.1 Estacionamentos solares

Apesar de veículos elétricos se apresentarem como uma solução para redução das emissões de GEE, as mesmas ainda poderão ser consideráveis, caso combustíveis fósseis sejam usados para a geração de eletricidade. Tendo isso em mente, o uso de energia solar para produção de eletricidade se apresenta como uma solução capaz de atender a demanda de veículos elétricos. Mais especificamente, áreas úteis de estacionamentos já implantados podem ser usadas, para serem convertidas em estacionamentos solares capazes de gerar energia e recarregar os VE.

Segundo Nunes, Figueiredo e Brito (2016), estacionamentos solares podem ser públicos ou privados e podem ser instalados em praticamente qualquer lugar, seja em ambientes de trabalho, shopping centers, restaurantes, supermercados, hotéis, hospitais, estações de trem, rodovias, universidades, rodovias, e assim por diante.

De fato, o potencial de implantação destes sistemas em estacionamentos já implantados é extremamente elevado, por exemplo, as vagas de estacionamento ocupavam 25% do total da área construída da cidade de São Paulo em 2012 (BRANCATELLI, 2012).

Além do mais, com alta disponibilidade de estacionamento solares, facilita-se o carregamento de VE com mais frequência, o que estimula os usuários a aderir à esta tecnologia.

Outro benefício citado por Nunes, Figueiredo e Brito (2016), é a capacidade de sombreamento proveniente da cobertura dos módulos fotovoltaicos. Robinson *et. al* (2014) ainda verificou que, na cidade de Oklahoma – EUA, a temperatura interna dos carros poderia baixar de 77 °C, quando expostos diretamente à luz solar, para 43 °C, quando posicionados sob sombras. Esta redução na temperatura proporciona maior condição de conforto para os motoristas, reduzindo inclusive riscos de saúde devido à exposição a temperatura elevada. A estrutura do estacionamento solar, ainda confere proteção e abrigo de chuvas, granizo, neve e folhas. Essa menor exposição, pode contribuir para reduzir a depreciação do veículo.

Robinson *et. al* (2014) também apontam, que estacionamentos solares podem ser utilizados como ferramentas educacionais, quando instalados em escolas e universidades. Isso permitiria aumentar a consciência social referente aos conceitos das tecnologias de geração solar e de veículos elétricos, estimulando o emprego das mesmas pela sociedade.

A capacidade produtiva de estacionamentos solares públicos depende diretamente da eficiência dos equipamentos utilizados, e da área disponível para implantação dos mesmos. Contudo, Robinson *et. al* (2014) indicam que, geralmente, estes estacionamentos são equipados com carregadores do Modo de Carga 1 e 2, devido ao menor custo. O tempo de recarga destas tecnologias não seria um problema para usuários que deixam seus veículos por um tempo significativo, como funcionários de universidades ou empresas, que normalmente, deixam seus veículos estacionados por aproximadamente 8 horas, o que é tempo suficiente para a recarga das baterias. Para locais, onde o tempo de permanência dos usuários é menor, como lojas e mercados, indica-se a utilização de estações de recarga de modo 2 com maior capacidade.

Figura 9 – Estacionamentos solares



Fonte: Sonnen Energia (2016)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (2007, p. 17), uma pesquisa é definida como o “procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”. Ela pode ser classificada quanto sua abordagem, natureza e quanto aos objetivos.

O presente trabalho, por sua vez, tem sua abordagem classificado como uma pesquisa quantitativa, uma vez que a validação das hipóteses está sujeita a análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros, com o objetivo de descrever às relações entre as variáveis estudadas (FONSECA, 2002).

Quanto à natureza, esta pesquisa pode ser considerada aplicada, visto o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática (ENGEL, SILVEIRA, 2009).

Em relação ao objetivo, este trabalho se caracteriza como uma pesquisa explicativa, devido à busca por fatores que determinam ou contribuam para a ocorrência de um fenômeno (GIL, 1999). A forma de intervenção proposta será a experimental que, segundo Gil (2007), consiste em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto.

Por sua vez, para que a pesquisa seja reconhecida, a mesma requer um procedimento formal realizado de “modo sistematizado, utilizando para isto método próprio e técnicas específicas” (RUDIO, 1980, p. 9). O método de abordagem proposto é o hipotético-dedutivo, que segundo Soares (2003, p. 39) consiste:

(...) na construção de conjecturas, as quais deveriam ser submetidas a testes, os mais diversos possíveis, à crítica intersubjetiva e ao controle mútuo pela discussão crítica, à publicidade crítica e ao confronto com os fatos, para ver quais as hipóteses que sobrevivem como mais aptas na luta pela vida, resistindo às tentativas de refutação e falseamento.

A realização do experimento tem como objetivo responder a seguinte pergunta:

- Os estacionamentos solares são capazes de atender a demanda dos veículos elétricos, se convertendo em ferramenta para controle da demanda local, diminuindo o impacto ambiental e contribuindo

socialmente para o desenvolvimento de duas tecnologias com amplo potencial de utilização futura no mundo?

As seguintes hipóteses foram levantadas e serão testadas através do experimento a ser realizado:

- Estacionamentos solares aumentam a oferta de energia no sistema elétrico.
- Estacionamentos solares são soluções capazes de suprir a demanda energética de veículos elétricos.
- A integração entre veículos elétricos e estacionamentos solares promove a redução de GEE.

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, assim denominada a partir de 2005, teve seu início em 1909, enquanto Escola de Aprendizes Artífices. Sua missão é desenvolver a educação tecnológica de excelência através do ensino, pesquisa e extensão, interagindo de forma ética, sustentável, produtiva e inovadora com a comunidade para o avanço do conhecimento e da sociedade (UTFPR, 2017).

A UTFPR conta com 13 campus no Estado do Paraná e, em Curitiba, conta com 3 sedes, a sede Centro, Ecoville e Neoville, sendo a última, onde se desenvolverá a planta piloto, objeto de estudo deste trabalho.

Figura 10 – UTFPR, sedes do Campus Curitiba



Fonte: UTFPR (2016)

A sede Neville foi inaugurada no dia 1º de março de 2016, contando com 245.000 m² e 31.000 m² de área construída total, situada na Rua Pedro Gusso, 2601, CEP 81310-900, Curitiba – PR, Brasil.

3.2 DADOS GEOGRÁFICOS, ENERGÉTICOS E DE IRRADIAÇÃO

Para projeção da capacidade produtiva do sistema fotovoltaico para o estacionamento solar, será necessária obtenção dos dados geográficos da sede Neville, bem como do posicionamento da instalação, de forma a identificar a incidência de irradiação solar sobre a mesma.

Isso será feito através do *software* Google Earth, que disponibiliza os dados de geográficos de latitude e longitude para um dado endereço. Além disso, ao especificar o ponto de estudo, é indicado seu ângulo azimutal em relação ao norte.

Quanto aos dados energéticos, Mariano (2017) levantou em sua pesquisa, a demanda energética da sede Neville, através dos dados da COPEL, para o período de 2016. Ainda em seu trabalho, Mariano (2017) levantou os dados de irradiação mínima e máxima para a cidade de Curitiba, selecionados com a finalidade de destacar os dias com menor e maior predominância de irradiação diária, e, também, a correspondência pela demanda e consumo energético para os mesmos dias. Assim, o mês de março de 2016 foi selecionado para análise da irradiação no verão, representando o mês com alta irradiação, uma vez que é o mês dentro do período letivo mais próximo ao verão; e de forma análoga, o mês de junho foi considerado para análise de irradiação de inverno, como o mês representante do período de baixa irradiação.

Tabela 5 – Dados de irradiação para os dias típicos selecionados na cidade de Curitiba

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: Mariano (2017)

Para estes dias, foram levantados os dados de energia, através da plataforma CAS Hemera, identificando o perfil de consumo e demanda da sede

Neoville. Na Tabela 6, Mariano (2017) apresenta os dados colhidos, onde é verificado que o consumo diário total varia na faixa de 1.768 a 2.012 kWh.

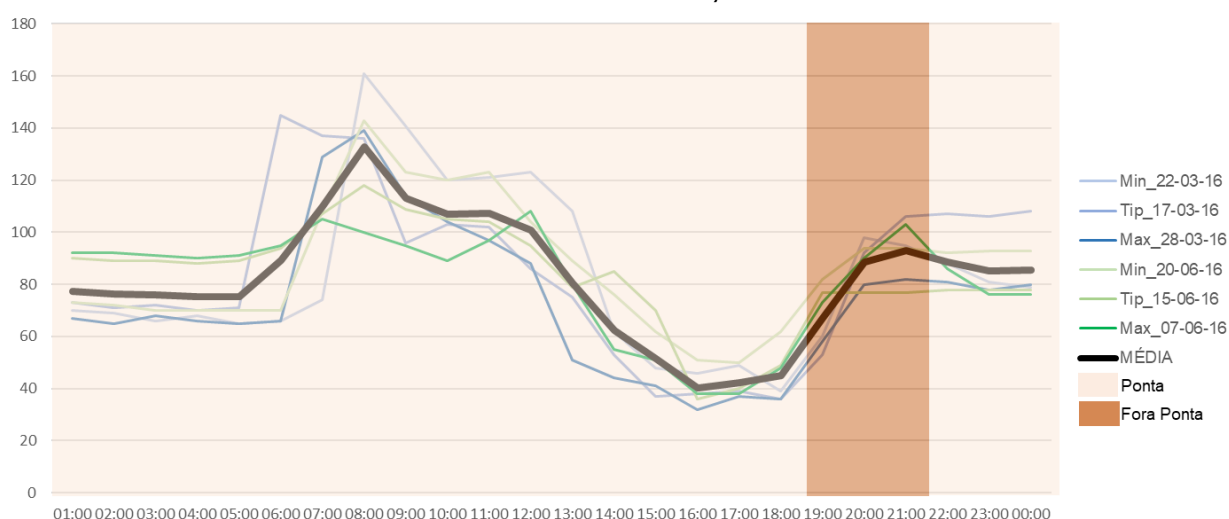
Tabela 6 – Consumo diário total – sede Neoville

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: Mariano (2017)

Para cada um destes dias, Mariano (2017) também fez o levantamento da curva de carga da instalação, resumidos na Figura 9.

Gráfico 8 – Demanda da UTFPR, sede Neoville

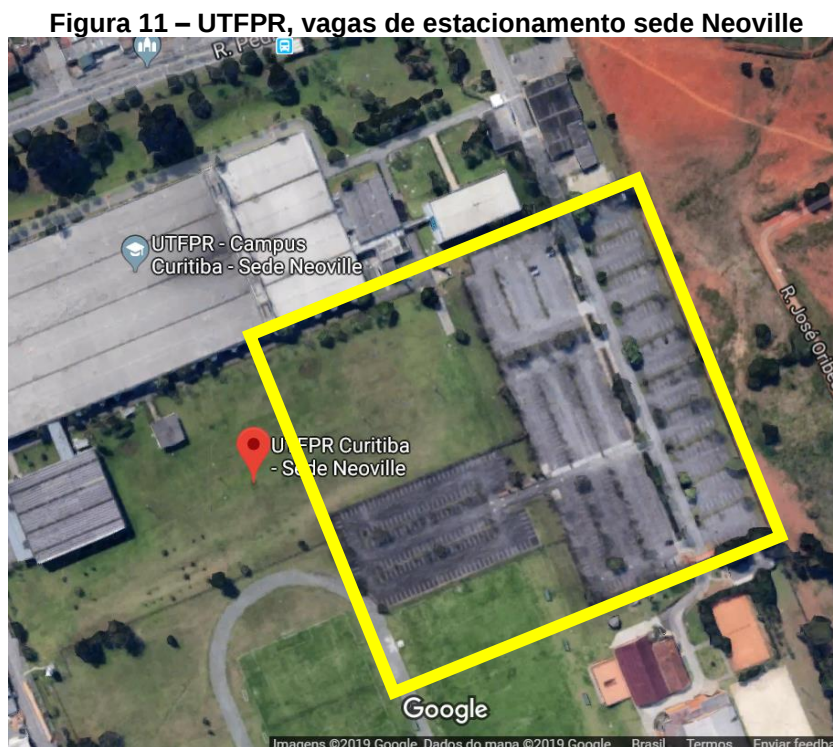


Fonte: Mariano (2017), adaptado pelo autor

Da curva de carga da sede Neoville, é possível observar que o consumo começa a elevar-se a partir das 7h da manhã, atingindo seu pico por volta das 8h, com uma média de 133 kW de demanda. Em seguida, o consumo começa a reduzir-se até atingir seu ponto mínimo, por volta das 16h, com uma média de 40 kW. Na sequência, o consumo energético volta a aumentar, atingindo um segundo pico por volta das 21h, com uma média de 93 kW de demanda. O consumo diário médio total é de 1.970 kWh.

3.3 POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DO ESTACIONAMENTO SOLAR

O potencial de instalação de estacionamento solar, será feito levando em consideração a área disponível para estacionamento na sede Neville, conforme apresentado na Figura 11.



Fonte: Google Maps, adaptado pelo autor (2019)

O estacionamento conta com 781 vagas disponíveis que poderiam ser convertidas em estacionamento solar. A capacidade total de geração será obtida, extrapolando a capacidade de geração da planta piloto implantada na sede Neville.

3.3.1 Produção da Planta Piloto do Estacionamento Solar

O desenvolvimento da planta piloto do estacionamento solar foi desenvolvido, graças a doação dos equipamentos por diversas empresas, bem como pela participação de todos os alunos do Laboratório de Energia Solar – LABENS, da UTFPR.

Através da especificação dos equipamentos doados que foi feito o dimensionamento do sistema.

A projeção da energia diária gerada pelo sistema, pode ser calculada conforme segue:

$$E = \frac{P_{FV} * H_{TOT} * PR}{G} \quad (5)$$

Onde:

- E: energia diária gerada pelo sistema fotovoltaico (Wh/dia);
- P_{FV} : potência do sistema fotovoltaico instalado (W);
- H_{TOT} : irradiação solar diária incidente sobre os módulos FV (kWh/m².dia);
- PR: taxa de performance do sistema FV, geralmente sendo considerada igual à 0,80;
- G: irradiação solar nas condições STC, sendo igual a 1.000 Wh/m².

O Atlas Paranaense de Energia Solar disponibiliza os dados de irradiação solar médios mensais, no plano horizontal. Estes dados podem, então, ser cadastrados no *software* Radasol que, por sua vez, faz a conversão da irradiação solar no plano horizontal, para a irradiação solar média mensal para o plano inclinado, levando em consideração o desvio azimutal da instalação. Finalmente, estes dados podem ser empregados através da Equação (5) para estimativa da produção mensal do sistema fotovoltaico.

Uma segunda forma de estimar a produção da planta, é através da utilização de *softwares* de simulação de sistemas fotovoltaicos. Dentre as várias opções disponíveis, para este trabalho será utilizado o PVSyst, *software* suíço, capaz de simular sistemas fotovoltaicos conectados à rede, isolados, sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e sistemas de microrredes. A escolha do *software*, se pautou na disponibilidade e conhecimento prévio de utilização.

Figura 12 – UTFPR, vagas de estacionamento sede Neville



Fonte: Mermoud e Wittmer (2017)

Para este trabalho, será utilizado unicamente a opção *Grid-Connected*, atrelada à simulação de SFCR. Ao selecionar a mesma, é criado um novo projeto, onde é feita toda a configuração do sistema.

O primeiro passo da configuração é escolher o local da simulação, com o qual o *software* obtém dados como as coordenadas geográficas, a irradiação incidente (global e difusa), a trajetória solar diária, as temperaturas ambientes, a carga de vento, entre outros. O PVsyst oferece uma lista de cidades pré-cadastradas e, caso o local de estudo não se encontre entre as mesmas, é possível importar tais dados dentro do próprio *software*, ao buscar a localidade pelo nome da cidade, ou através de suas coordenadas geográficas, ou ainda selecionando no próprio mapa do *software*.

Figura 13 – Importação de nova localização de estudo - PVsyst

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Please click on the desired location, then import data to PVsyst.

Selected point

- Locality: Carouge
- Country: Switzerland
- Latitude (°): 46.17
- Longitude (°): 6.14
- Altitude (m): 421
- Time zone: +1

Address: 46.17, 6.14 Search

New Site | Print | Cancel | OK

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Site: **Grand-Saconnex (Switzerland)**

Data source: Meteonorm 7.1 (1991-2010)

	Global Irrad.	Difuse	Temper.	Wind Vel.
	kWh/m².mth	kWh/m².mth	°C	m/s
January	31.7	17.9	1.9	2.39
February	53.6	30.6	3.2	2.49
March	101.0	50.8	6.7	2.80
April	133.4	68.0	10.4	2.50
May	163.9	79.0	15.2	2.20
June	180.5	87.2	19.0	2.30
July	183.6	75.7	20.5	2.19
August	155.8	72.2	19.7	1.89
September	111.8	59.0	15.3	2.00
October	67.8	37.0	11.5	1.90
November	36.2	20.4	5.8	2.10
December	24.9	16.1	2.7	2.38
Year	1244.3	613.9	11.0	2.3

Required Data

- ☒ Horizontal global irradiation
- ☒ Average Ext. Temperature

Extra data

- ☒ Horizontal diffuse irradiation
- ☒ Wind velocity

Irradiation units

- ☐ kWh/m².day
- ☒ kWh/m².mth
- ☐ MJ/m².day
- ☐ MJ/m².mth
- ☐ W/m²
- ☐ Cleaness Index Kt

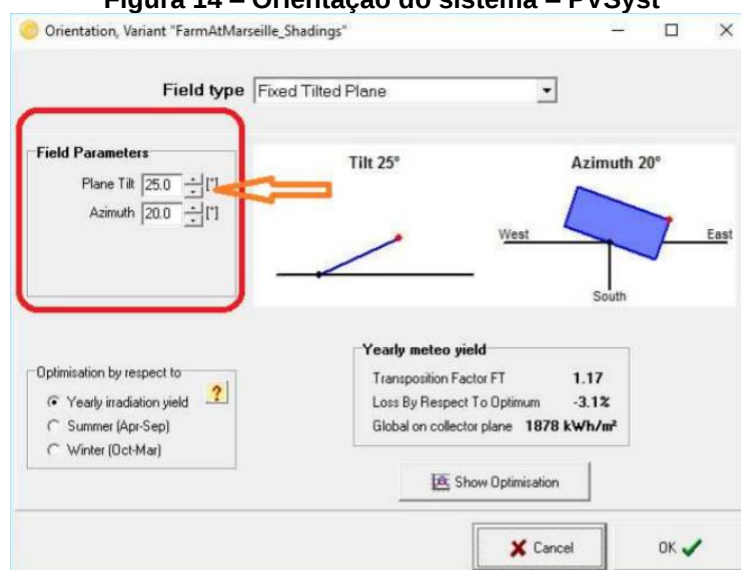
New Site | Print | Cancel | OK

Fonte: Mermoud e Wittmer (2017)

A base de dados meteorológica do próprio PVSyst é constituída sobre a base Meteonorm, à qual interpola os dados irradiância, vento, temperaturas, entre outros, de 1.100 estações de medição e satélites. No PVSyst, é pré-definido que as simulações anuais baseiam-se nos dados oriundos do ano de 1990, uma vez que a análise, a avaliação e validação de dados medidos em tempo real é uma tarefa complexa e ficam disponíveis somente após vários anos de discussão (MERMOUD e WITTMER, 2017).

Uma vez escolhido o local, inicia-se a configuração do sistema, escolhendo a orientação da instalação. Dentre as opções, é possível simular um sistema com orientação fixa, com mais de uma orientação, ou ainda sistemas com seguidores solares de um ou dois eixos. Além disso, é preciso informar o ângulo de inclinação da instalação, e o ângulo azimutal. Caso o projetista possua flexibilidade de instalação, o PVSyst ainda fornece, nesta janela, informações a respeito da posição ótima do sistema, para o local informado.

Figura 14 – Orientação do sistema – PVSyst



Fonte: Mermoud e Wittmer (2017)

Na sequência, inicia-se o processo de definir os equipamentos que compõem o sistema. Na janela de configuração, é possível definir a composição do sistema de forma livre, ou seja, escolhendo os modelos de equipamentos, e a configuração dos mesmos, de forma pré-definida pelo projetista; ou ainda, sendo auxiliado pelo próprio software que indica a configuração ideal, com base nos modelos de equipamentos escolhidos, na potência do sistema desejada, ou com base na área disponível para instalação.

Figura 15 – Configuração do sistema – PVSyst

Fonte: Mermoud e Wittmer (2017)

O PVSyst contém em sua base de dados, as características elétricas e de operação de boa parte dos equipamentos disponíveis comercialmente e, caso o projetista sinta falta de algum equipamento específico, é possível importar tais dados com um arquivo que, geralmente, é disponibilizado pelo fabricante.

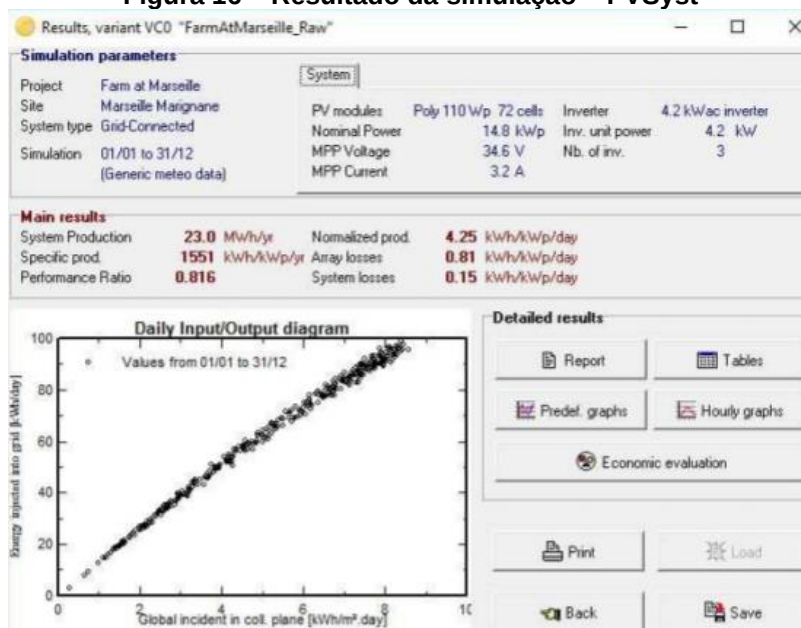
O *software* conta, ainda, com uma série de recursos disponíveis para análises mais profundas do sistema fotovoltaico, como:

- capacidade de alterar as características de um equipamento para simulação de operação em ambientes agressivos;
- inserção de pontos de perdas elétricas, como análise do cabeamento, transformadores, entre outros;
- alteração dos parâmetros de albedo e temperaturas locais;
- simulação 3D do sistema, com renderização da trajetória solar;
- análise de sombreamento do sistema.

Os recursos acima mencionados não serão abordados nesta pesquisa, razão pela qual não serão analisados extensamente.

Finalmente, escolhido os dados de orientação e composição do sistema, é possível lançar a simulação do mesmo. Os resultados são expostos em uma janela, sendo possível obter dados mais aprofundados através de um relatório em PDF, ou ainda gerar gráficos específicos como: irradiação global e difusa incidente mensal, ou horária; produção diária, ou mensal; nível de tensão do arranjo fotovoltaico; nível de temperatura do arranjo fotovoltaico; entre outros.

Figura 16 – Resultado da simulação – PVSyst



Fonte: Mermoud e Wittmer (2017)

3.4 CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO DA DEMANDA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Para verificar a quantidade de veículos elétricos que seria possível atender com o estacionamento solar simulado, é necessário estipular um modelo de veículo e padrão de deslocamento do mesmo.

No que se refere ao modelo, será levado em conta no âmbito desta pesquisa, alguns veículos elétricos disponíveis no mercado brasileiro, bem como o Eco Auto, veículo elétrico desenvolvido por Silva (2019) durante sua pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação de em Sistemas de Energia da UTFPR. Vale mencionar que, enquanto os dados dos veículos comerciais serão apenas

utilizados para as análises das simulações virtuais, o Eco Auto poderá ser utilizado empiricamente para coleta dos dados.

Tabela 7 – Comparação dos modelos de veículos elétricos utilizados nesta pesquisa

Modelo	Autonomia (km) NEDC	Autonomia (km) WLTP	Capacidade da Bateria (kWh)
BMW i3	235	135 - 160	42,20
Renault Zoe R90	403	200 - 300	41,00
Nissan Leaf	389	270 - 389	40,00
Chevrolet Bolt	520	380	60,00
Jac iEV 40 ¹	300	-	40,00
Eco Auto ²	53		15,10

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos catálogos dos fabricantes

Referente aos padrões de teste de autonomia dos veículos, dois padrões são geralmente utilizados pelo mercado. O NEDC (*New European Driving Cycle*) foi estabelecido em 1980 e tornou-se obsoleto recentemente, devido a diversas evoluções tecnológicas e mudança nos padrões de condução. O WLTP (*Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*) foi então instaurado a partir de 2017, com o objetivo de refletir melhor os padrões de condução e tecnologias atuais (WLTP FACTS, 2019). Na Tabela 8, é apresentado as principais diferenças entre ambos os padrões de teste.

Tabela 8 – Principais diferenças entre os padrões NEDC e WLTP

	NEDC	WLTP
Ciclo de teste	teste de ciclo único	ciclo dinâmico
Tempo do ciclo	20 minutos	30 minutos
Distância do ciclo	11 km	23,25 km
	2 fases	4 fases
Fases de condução	66% em perímetro urbano 34% em perímetro não-urbano	52% em perímetro urbano 48% em perímetro não-urbano
Velocidade média	34 km/h	46,5 km/h
Velocidade máxima	120 km/h	131 km/h
Influência de equipamentos opcionais	Impacto de CO ₂ e performance do combustível não considerados	Equipamentos adicionais podem ser levados em conta (podendo ser diferentes para cada carro)
Troca de embreagem	Pontos de troca de embreagem fixos	Pontos de troca de embreagem diferentes para cada veículo
Temperatura do teste	Medidas de 20 a 30°C	Medidas a 23°C, valores de CO ₂ corrigidos a 14°C

Fonte: WLTP Facts (2019), adaptado pelo autor

¹ O modelo JAC iEV 40 não possui autonomia divulgada no padrão WLTP

² A autonomia do Eco Auto não foi mensurada pelos padrões WLTP e NEDC. Silva (2019) estabeleceu um método próprio, levando em consideração: quantidade de quilômetros percorridos, estado da direção elétrica (*on/off*), estado do servo-motor do freio (*on/off*), estado do farol (*on/off*), o consumo energético, o tempo de recarga após uso e o tipo de percurso (cidade, rodovia e ambiente controlado).

Para as simulações, foram consideradas as autonomias máximas no padrão WLTP, com exceção dos modelos em que as mesmas não estão disponíveis.

O Eco Auto é um Mercedes Classe A 190, convertido em veículo elétrico. Na composição, o mesmo conta com um motor *Brushless* com potência de 20 kW, modelo HPM20KL, alimentado por 72 V, com arrefecimento líquido. Para suprir a demanda energética do veículo, o mesmo conta com um banco de baterias de chumbo-ácido, com capacidade de carga de 15,10 kWh. Para carregar as baterias, o Eco Auto também possui um carregador de baterias de íon de lítio ou chumbo ácido, com potência máxima de 2.500 W, corrente de saída de 30 A, tensão máxima de saída de 87,60 V_{dc} e tensão de entrada de 110-230 V_{ac} e frequência de 50-60 Hz. Para recarga do veículo, o mesmo conta com um plugue Tipo 1 J1772 (SILVA, 2019).

Figura 17 – Eco Auto



Fonte: Silva (2019)

Quanto aos cenários de deslocamento, na falta de um estudo sobre o padrão de deslocamento dos alunos e servidores da UTFPR, foi pesquisado na literatura, informações sobre o padrão de deslocamento médio de veículos.

Bittencourt (2014) identificou um estudo de 2006, realizado pela GIPA (*Interprofessional Grouping in Automotive Products and Services*) que o deslocamento médio diário de um VCI no Brasil é de aproximadamente 40 km por dia ou 14.600 km por ano. Na sequência, Bittencourt (2014) identificou um estudo realizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em 2011, sobre a distância média percorrida por veículos em função da idade do veículo, no qual a média do deslocamento diário dos 5 primeiros anos era de 48 km. Para o

desenvolvimento de sua pesquisa, Bittencourt (2014) usou o padrão de 48 km da CETESB, e incluiu 10 km diários adicionais para atender situações de emergência, totalizando 58 km diários. Finalmente, Bittencourt (2014) estipulou o padrão de deslocamento em 60 km diários, de forma a simplificar seus cálculos, dividindo o padrão em 25km do percurso até o trabalho (totalizando 50 km diários) e considerando 10 km adicionais para emergências.

Por sua vez, a Exame (2016) indica em sua reportagem, oriunda do acesso à pesquisa de mobilidade conduzida pela empresa Alelo, que em São Paulo, o deslocamento médio da população é de 20 km por dia, levando em consideração somente dias úteis, somando cerca de 40 minutos para transcorrer este deslocamento. Em Porto Alegre, esse padrão é de 13,6 km por dia, levando 29 minutos para cumprir esta distância. Em Goiânia, as pessoas percorrem até 13,7 km, gastando em torno de 31 minutos. Finalmente, em Curitiba, a média de deslocamento também é de 13,7 km, e o tempo necessário de deslocamento é de aproximadamente 33 minutos. Esta pesquisa da Alelo contou com a participação de 2.450 pessoas, residentes em 9 capitais brasileiras.

Já a IEA (2018) estipula em seu estudo que o padrão de deslocamento para veículos de passageiros é de 8.500 a 18.800 km por ano, ou seja, variando de 23,3 a 51,5 km por dia.

Do ponto de vista da UTFPR, campus Curitiba, é preciso levar em consideração que existe uma elevada participação de alunos oriundos de outras cidades que, ao mudar-se para Curitiba, optam por morar próximo ao local de estudo. Por outro lado, a sede Neville situa-se em uma região mais afastada do centro da cidade. Dessa forma, será considerado no desenvolvimento desta pesquisa, um padrão diário de deslocamento de até 25 km, sendo 11km de deslocamento da moradia até a universidade, e vice-versa, e mais 3 km de deslocamento para necessidades pontuais.

Para projeção da capacidade de atender a demanda de veículos elétricos, inicialmente será verificado a capacidade da planta piloto em atender a demanda o Eco Auto e dos demais veículos apresentados na Tabela 7. Isso pode ser feito, verificando a energia produzida pela planta piloto diariamente e a demanda diária do veículo elétrico estudado, com base no padrão de deslocamento estipulado acima.

Na sequência, será analisado a capacidade de geração do sistema fotovoltaico, caso a implantação se desse em todo o estacionamento da sede

Neoville da UTFPR. Com base na capacidade produtiva, seria identificado o número máximo de veículos elétricos que seria possível atender, de acordo com a Equação 6.

$$N_{VEMax} = \frac{E_{FVT}}{C_{VE}} \quad (6)$$

Onde:

- N_{VEMax} : número máximo de VE capazes de serem atendidos pelo estacionamento solar implantado em toda a sede Neoville da UTFPR;
- E_{FVT} : energia total gerada pelo estacionamento solar (kWh/dia);
- C_{VE} : demanda energética da bateria do modelo de veículo elétrico estudado (kWh/dia).

3.5 DADOS PARA ANÁLISE DE EFEITOS SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2019) consiste em uma ferramenta utilizada para entender, quantificar e gerenciar as emissões de GEE, sendo compatível com os métodos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Neste, ficam definidos os seguintes valores para os fatores de emissões dos combustíveis:

- Fator de emissão da gasolina automotiva pura: 2,212 kgCO₂/l;
- Fator de emissão do etanol anidro: 1,526 kgCO₂/l;
- Fator de emissão do etanol hidratado: 1,457 kgCO₂/l;
- Fator de emissão do diesel: 2,603 kgCO₂/l;

A gasolina comum comercializada nos postos de combustíveis é composta por 73% de gasolina pura e 27% de etanol anidro, de forma que o fator de emissão da gasolina comercializada é de 2,027 kgCO₂/l.

Quanto ao etanol, o modelo comercializado é o etanol hidratado. Entretanto, na metodologia do IPCC, não se leva em consideração o balanço das emissões do etanol, relacionadas à captação de CO₂ durante o crescimento da planta, ou seja, não se faz a ACV completa do recurso. Ferraz, John e Bessa (2010) estimam que,

ao se contabilizar o balanço total, o fator de emissão do etanol hidratado é de 0,485 kgCO₂/litro.

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2019) ainda estipula o padrão de consumo dos VCI que deve ser usado em análises de emissões, sendo:

- 12,2 km/l para veículos a gasolina;
- 12,2 km/l para veículos a diesel;
- 8,5 km/l para veículos a etanol.

Para análise dos efeitos sobre as emissões de CO₂, serão desconsiderados os fatores de emissão atrelados à confecção do veículo e de seus componentes internos.

O cálculo das emissões totais de uma frota de VCI, se dá através da seguinte equação:

$$E_{VCI} = \frac{n * c * FE_{VCI} * D}{1000} \quad (7)$$

Onde:

- E_{VCI} : são as emissões totais para dado VCI (tCO₂/ano);
- n : é a quantidade de veículos considerados;
- c : é o consumo de combustível para percorrer dada distância (l);
- FE_{VCI} : é o fator de emissão para o combustível considerado (kgCO₂/l);
- D : número de dias considerados na análise, definidos em 240, que são os dias úteis do ano.

Em relação ao VE, a estimativa do fator de emissão do mesmo está atrelada à fonte energética da qual a eletricidade é oriunda. Duas análises foram feitas, uma com base no fator de emissão da matriz elétrica brasileira de 2018 e outra com base no fator de emissão da energia solar fotovoltaica, ambas levando em consideração a ACV das fontes, de forma a permitir a identificação dos reais benefícios das fontes renováveis.

O fator de emissão da produção de energia, através da tecnologia solar fotovoltaica será considerado como sendo 0,063 kgCO₂/kWh, conforme identificado por Campos (2016), sendo correspondente ao fator de emissão de módulos fotovoltaicos policristalinos. A razão pela escolha desta tecnologia de módulos, reside no fato de que são estes os equipamentos utilizados na planta piloto e na projeção do estacionamento completo da sede Neville.

A matriz elétrica de 2018 foi apresentada no Gráfico 1. Para estimar o fator de emissão da mesma, foi utilizado os fatores de emissão por fonte identificados por Miranda (2012) e apresentados na Tabela 1, bem como os fatores referentes a biomassa e energia solar fotovoltaica estimados por Campos (2016), sintetizados na Tabela 2. Foi considerado o fator de emissão de módulos fotovoltaicos policristalinos para a quantificação das emissões da fonte solar. Tais valores foram utilizados na Equação 8, para cálculo do fator de emissão da matriz.

$$FE_{MB2018} = \sum_i FE_i * P_i \quad (8)$$

Onde:

- FE_{MB2018} : é o fator de emissão da matriz elétrica brasileira para o ano de 2018 (kgCO₂/kWh);
- FE_i : é o fator de emissão da fonte i (kgCO₂/kWh0);
- P_i : é a participação da fonte i na matriz elétrica brasileira em 2018 (%).

O fator de emissão encontrado para a matriz elétrica brasileira no ano de 2018 foi de 0,166 kgCO₂/kWh, o qual será utilizado para as comparações.

Dessa forma, as emissões totais do VE são calculadas através da seguinte equação:

$$E_{VE} = \frac{n * c * FE_{VE} * D}{1000} \quad (9)$$

Onde:

- E_{VE} : são as emissões totais para dado VE (tCO₂/ano);
- n : é a quantidade de veículos considerados;
- c : é o consumo de combustível para percorrer dada distância (kWh);
- FE_{VE} : é o fator de emissão atrelado a fonte de energia considerada para recarregar o veículo (kgCO₂/kWh);
- D : número de dias considerados na análise, definidos em 240, que são os dias úteis do ano.

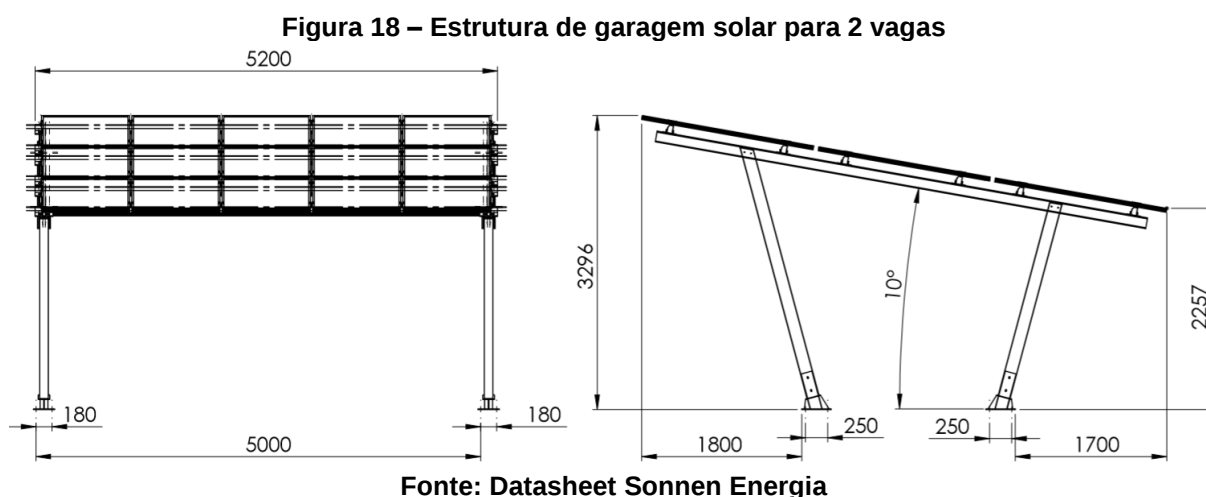
4 RESULTADOS

Na sequência, será abordado o desenvolvimento da planta piloto, a projeção do sistema fotovoltaico para implantação em toda a sede Neville, bem como o potencial de geração das plantas, a produção real da planta piloto, o impacto energético da geração para a sede Neville da UTFPR, a capacidade de recarga de VE e, finalmente, os impactos nos níveis de missão de CO₂.

4.1 DESENVOLVIMENTO DA PLANTA PILOTO DO ESTACIONAMENTO SOLAR

A execução da planta piloto de estacionamento solar, na sede Neville da UTFPR, só foi possível graças a doação de equipamentos por empresas da área de energia solar, bem como da união dos alunos e pesquisadores do LABENS da UTFPR, para construção da mesma.

O primeiro item doado, fornecido pela empresa Sonnen Energia, foi a estrutura em alumínio para sustentação dos módulos fotovoltaicos, em modelo de garagem solar para duas vagas de estacionamento.



Esta estrutura conta com um sistema de vedação para evitar o vazamento de água entre os módulos, graças a uma presilha intermediária que acompanha todo o comprimento da fileira de módulos na vertical, bem como uma borracha que é fixada entre o contato de cada módulo na horizontal.

Quanto a confecção da sapata, a recomendação do fabricante é que ela possua as seguintes dimensões mínimas: 0,40 x 0,30 x 0,70 m (comprimento x largura x altura). Porém, para contemplar a armadura, as dimensões reais da sapata confeccionada foram de 0,55 x 0,45 x 1,20 m. A Figura 19 apresenta a confecção da sapata e da armadura.

Figura 19 – (a) Confeção da sapata – (b) Armadura para a sapata



Fonte: LABENS (2019)

A estrutura de garagem solar, ou *carport*, da Sonnen Energia é composta por 15 módulos fotovoltaicos, dispostos em 5 fileiras de 3 módulos cada. Diante disso, a empresa L8 Energy contribuiu com a doação de 6 unidades do módulo policristalino CS6U-335P, de 335 Wp da Canadian Solar, e 9 unidades do módulo policristalino JKM320PP-72-V, de 320 Wp da Jinko Solar.

As principais características desses módulos são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características dos Módulos Fotovoltaicos

	JKM320PP-72-V	CS6U-335P
Potência Máxima (Pmax)	320 Wp	335Wp
Tensão Máxima (Vmp)	37,4 V	37,4V
Corrente Máxima (Imp)	8,56 A	8,96 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	46,4 V	45,8 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,05 A	9,54 A
Eficiência do módulo (%)	16,49%	17,23%

Fonte: Datasheet Canadian e Jinko Solar, adaptado pelo autor

Por se tratar de dois modelos de módulos fotovoltaicos distintos, os mesmos serão separados em duas *strings* distintas. Em função disso, o inversor que deve ser

utilizado neste sistema deve possuir ao menos dois circuitos independentes de MPPT.

O arranjo fotovoltaico será composto então, por uma *string* de 2,01 kWp, oriunda do conjunto de 6 módulos de 335 Wp; e por uma *string* de 2,88 kWp, composta pelos 9 módulos de 320 Wp. Dessa forma, a potência total do sistema, composta pela soma das duas *strings*, é de 4,89 kWp.

Diante da configuração do sistema, a empresa Fronius forneceu o inversor Fronius Primo 5.0-1, de 5 kWp de potência e com monitoramento integrado. A Tabela 10 apresenta as principais características deste modelo de inversor.

Tabela 10 – Dados técnicos do inversor Fronius Primo 5.0-1

Fronius Primo 5.0-1	
Número de MPPT	2
Máxima corrente de entrada (MPPT1/MPPT2)	12 A/12 A
Corrente de curto circuito (MPPT1/MPPT2)	18 A/18 A
Máxima tensão de entrada DC	1.000 V
Intervalo de tensão do MPPT	80 – 800 V
Potência nominal de saída AC	5.000 W
Máxima corrente de saída AC	21,7 A
Tensão da rede de conexão	1 – NPE 220 V/230 V
Frequência da rede	50 Hz/60 Hz

Fonte: Datasheet Fronius Primo, adaptado pelo autor

Conforme as equações (1), (2), (3) e (4) apresentadas no Capítulo 2 deste trabalho, o arranjo fotovoltaico deve respeitar as características de entrada do inversor, de forma a operar de forma eficiente. Assim, o arranjo fotovoltaico possui as seguintes características:

Tabela 11 – Configuração do arranjo fotovoltaico

	Nº de Módulos	P _{max} Modulo	P _{max} String	V _{oc} String	V _{mp} String	I _{mp} String	I _{sc} String
String 1	6	335 Wp	2,01 kWp	274,8 V	224,4 V	8,96 A	9,54 A
String 2	9	320 Wp	2,88 kWp	417,6 V	336,6 V	8,56 A	9,05 A

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas Tabelas 9 e 10, verifica-se que as características técnicas do inversor são respeitadas, pois:

- A tensão máxima na entrada do inversor, de 1.000 V, é superior tanto aos 274,8 V da *string* 1, quanto aos 417,6 V da *string* 2;
- A tensão de operação da *string* 1, de 224,4 V fica dentro do limite de operação eficiente do canal de MPPT do inversor, que varia entre 80 e 800 V;

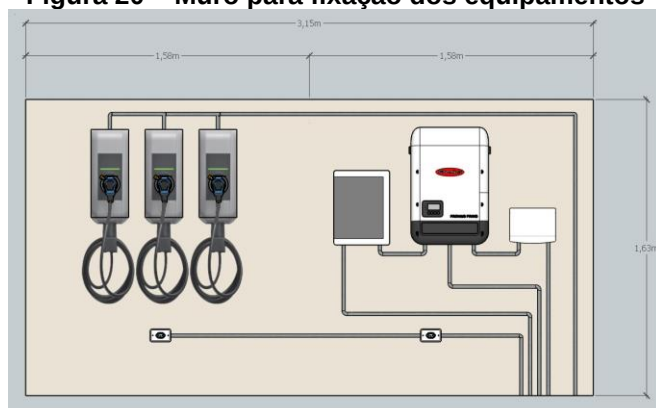
- A tensão de operação da *string* 2, de 336,6 V fica dentro do limite de operação eficiente do canal de MPPT do inversor, que varia entre 80 e 800 V;
- A corrente máxima de cada entrada do inversor, de 12 A, é superior tanto aos 8,96 A da *string* 1, quanto aos 8,56 A da *string* 2;
- A corrente de curto circuito de cada entrada do inversor, de 18 A, é superior tanto aos 9,54 A da *string* 1, quanto aos 9,05 A da *string* 2;

Para proteção do sistema, a empresa Proauto forneceu uma *string-box*, ou quadro de conexões, de 4 entradas e 2 saídas, o que permite separar as *strings* para que cada uma seja conectada no seu respectivo canal MPPT do inversor. O quadro de conexões contém, para cada *string*, um conjunto de DPS Dehn Tipo II de 1.000 Vdc, específico para aplicações fotovoltaicas, e chave seccionadora de 1.000 Vdc e 25 A. Para proteção e seccionamento do lado CA do inversor, foi previsto um quadro elétrico com um disjuntor e um DPS.

Na concepção da planta piloto, definiu-se por construir uma mureta na frente da vaga de estacionamento solar, de 3,17 m x 1,63 m, de forma que os equipamentos ficassem abrigados da chuva, mas também ficassem expostos ao público, o que contribui para a consciência das tecnologias. Nesta, ficariam fixados o inversor Fronius Primo 5.0-1, a *string-box* da Proauto e o quadro com a proteção CA. Além disso, também seria disponibilizado duas tomadas padrão de rede alternada, para carregamento de VE em Modo de Carga de nível 1.

Na concepção dessa mureta, também foi previsto espaço para instalação de três carregadores veiculares, como os EVLunic AC Wallbox da ABB, que são carregadores de Modo de Carga nível 2, variando de 3 a 22 kW de potência, com tempo de recarga de 2 à 16h. Todavia, a doação destes equipamentos segue sendo negociada com a empresa ABB.

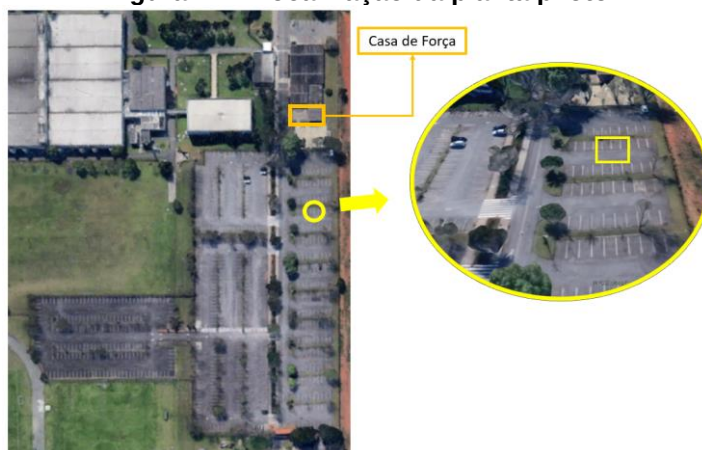
Figura 20 – Muro para fixação dos equipamentos



Fonte: LABENS (2019), elaborado pela Engenheira Larissa Barbosa Krasnhak

O estacionamento da sede Neville da UTFPR foi disponibilizado para a implantação da planta piloto, conforme Figura 20. A definição exata do local, pautou-se no espaço com menor incidência de sombreamento, devido às árvores presentes no entorno do ambiente, bem como pela proximidade com a casa de força da sede Neville, situada na entrada da mesma.

Figura 21 – Localização da planta piloto



Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software Google Earth

O resultado da elaboração execução do *carport* é apresentado à seguir, na Figura 22.

Figura 22 – Planta piloto do estacionamento solar da UTFPR, sede Neville



Fonte: LABENS (2019)

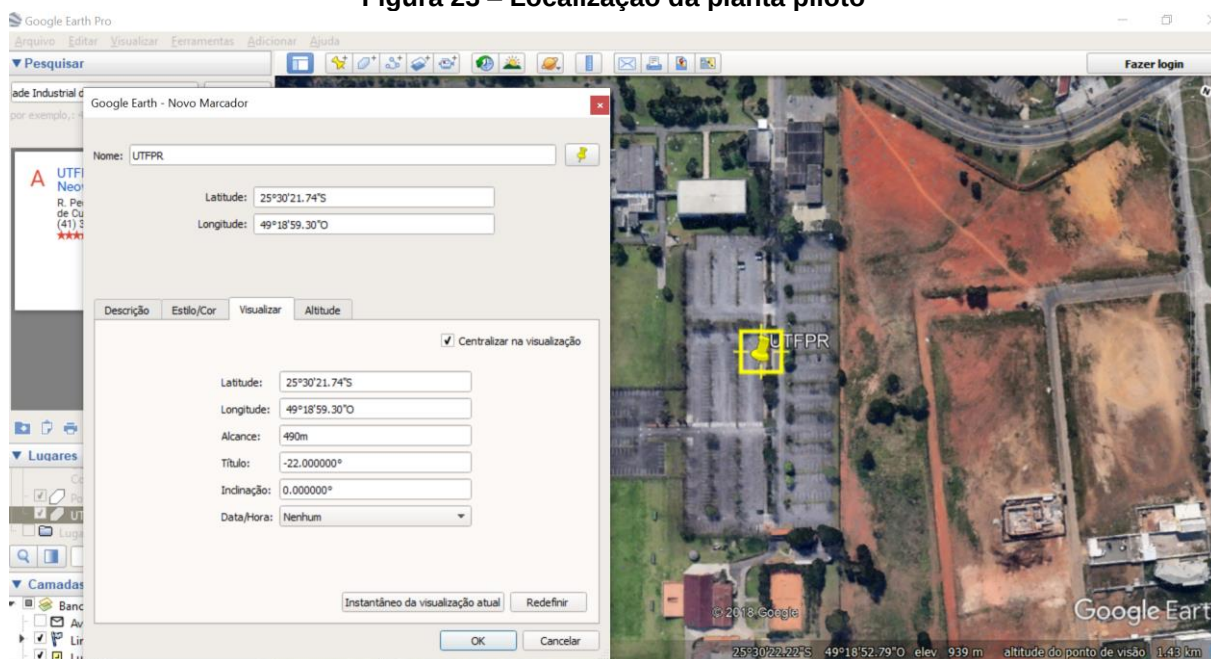
Uma vez que a construção do estacionamento solar foi concluída, foi protocolado o projeto do mesmo na COPEL, sendo aprovado pela mesma, após vistoria do sistema, no dia 31 de maio de 2019. A condução de todo o processo de aprovação na concessionária de energia foi feita graças a empresa Piazza Solaris, também em caráter de doação da prestação de serviço.

4.2 PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DA PLANTA PILOTO DO ESTACIONAMENTO SOLAR

Para projeção da capacidade produtiva da planta piloto, é necessário identificar os dados geográficos da instalação, de forma a se obter os valores de irradiação incidente sobre este ponto.

Através do *software* Google Earth, é possível identificar estes dados ao inserir o endereço do objeto de estudo. A latitude do estacionamento da sede Neville é -25.506039, a longitude é -49.316472 e o ângulo azimutal é de -22. A inclinação da planta, é de 10°, em função da estrutura doada.

Figura 23 – Localização da planta piloto



Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software Google Earth

Conhecendo as coordenadas geográficas, é possível iniciar a projeção de produção e a simulação.

Na Tabela 12, é apresentada a irradiação global horizontal mensal média, obtida através do Atlas Paranaense de Energia Solar:

Tabela 12 – Irradiação global horizontal na sede Neville, UTFPR (kWh/m².dia)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5,4	5,15	4,53	3,77	3,07	2,75	2,89	3,87	3,86	4,43	5,26	5,61

Fonte: Atlas Paranaense de Energia Solar (2019)

Na sequência, estes dados foram inseridos no software Radiasol, de forma a obter a irradiação mensal média no plano inclinado. O *carport* fornecido pela empresa Sonnen Energia possui uma inclinação fixa de 10° e, conforme mencionado acima, o ângulo azimutal é de 22° Oeste. A irradiação no plano inclinado resultante é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Irradiação no plano inclinado na sede Neville, UTFPR (kWh/m².dia)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5,416	5,207	4,657	3,939	3,263	2,967	3,103	4,120	3,988	4,505	5,285	5,614

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados do Atlas Paranaense de Energia Solar e do software Radiasol

Conforme mencionado no Capítulo 3, a partir da irradiação no plano inclinado e da potência do sistema, é possível calcular a produção mensal do sistema através da Equação (5), o resultado é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Estimativa da produção mensal da planta piloto, através do Radiasol (kWh/mês)

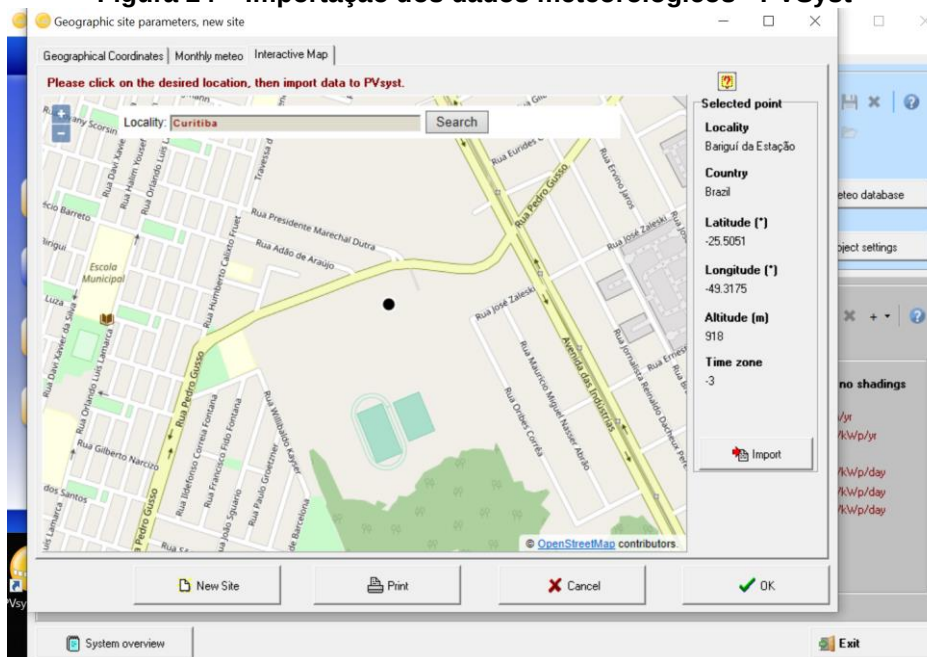
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
635,6	611,1	546,6	462,3	382,9	348,2	364,2	483,5	468,0	528,7	620,2	658,9

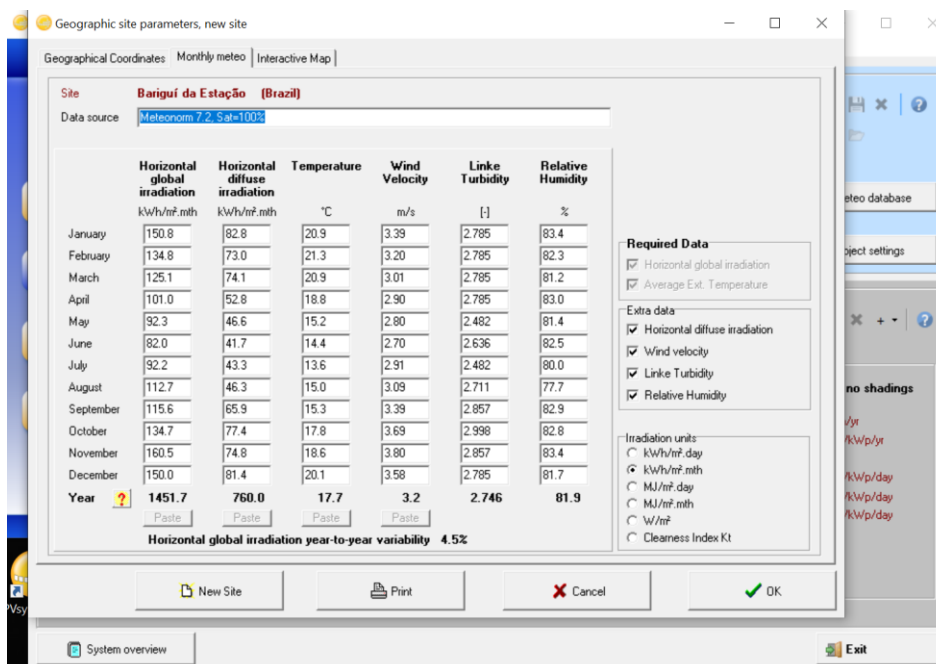
Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados do Atlas Paranaense de Energia Solar e do software Radiasol

Dessa forma, a expectativa de produção média mensal é de 509,19 kWh, e a projeção da produção anual da planta piloto é de 6.110 kWh.

Por sua vez, para simulação no software PVSyst, o primeiro passo é escolher o local para a simulação. Como Curitiba não está na lista original das localidades disponíveis, é necessário fazer a importação dos dados, o que foi feito identificando o endereço da sede Neville no mapa, e selecionando o ponto desejado de estudo.

Figura 24 – Importação dos dados meteorológicos - PVSyst



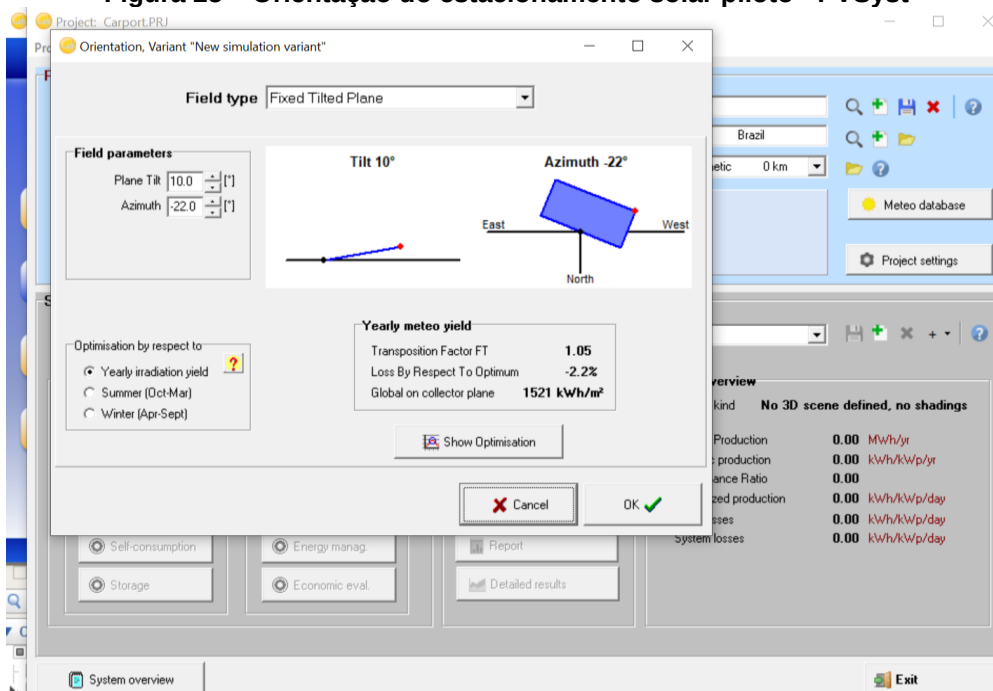


Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software PVSyst

Na Figura 24, é possível identificar que as coordenadas geográficas diferem ligeiramente daquelas extraídas do *software* Google Earth. Isso ocorre, pois o PVSyst identifica o ponto mais próximo do local escolhido, para os quais ele possui os dados meteorológicos armazenados.

Uma vez tendo definido o local para a simulação, o próximo passo é inserir os dados de orientação do sistema estudado. O *carport* fornecido pela empresa Sonnen Energia possui uma inclinação fixa de 10° e, conforme mencionado acima, o ângulo azimutal é de 22° Oeste.

Figura 25 – Orientação do estacionamento solar piloto - PVSyst



Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software PVSyst

Na sequência, foi feito a composição do sistema, definindo os módulos e inversores conforme modelos doados. Como o sistema proposto utiliza os dois canais de MPPT do inversor, é preciso criar dois *sub-arrays* no PVSyst, de forma que cada um simula um canal de MPPT. A configuração fica, então da seguinte forma:

- *Sub-array 1*: representa a *string* composta por 6 módulos de 335 Wp, conforme modelo CSU-335P;
- *Sub-array 2*: representa a *string* composta por 9 módulos de 320 Wp, conforme modelo JKM-320PP-72-V.

Figura 26 – Configuração da planta piloto: (a) Sub-array 1, (b) Sub-array 2 – PVSyst

Grid system definition, Variant "New simulation variant"

Global System configuration
 2 Number of kinds of sub-arrays
 Simplified Schema

Global system summary
 Nb. of modules 15 Nominal PV Power 4.9 kWp
 Module area 29 m² Maximum PV Power 5.0 kWdc
 Nb. of inverters 1 Nominal AC Power 5.0 kWac

Sub-array #1 Sub-array #2

Sub-array name and Orientation
 Name Sub-array #1 Order 1
 Orient. Fixed Tilted Plane Tilt 10° Azimuth -22°

Presizing Help
☒ No sizing Enter planned power 0.0 kWp
 ... or available area(modules) 0 m²

Select the PV module
 Available Now Filter All PV modules
 Canadian Solar Inc. 335 Wp 32V Si-poly CS6U - 335P Since 2017 Manufacturer 2017
 Sizing voltages : Vmpp (60°C) 31.8 V
 Voc (-10°C) 51.1 V
☐ Use Optimizer

Select the inverter
 All inverters Output voltage 230 V Mono 50Hz
 Fronius International 5.0 kW 80 - 800 V TL 50/60 Hz Primo 5.0-1 Since 2015
 Nb of MPPT inputs 1 Operating Voltage: 80-800 V Inverter power used 2.5 kWac
☒ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 1000 V Inverter with 2 MPPT
☒ 50 Hz
☒ 60 Hz
 Power sharing

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series 6 between 3 and 19
 Nbre strings 1
 Overload loss 0.0 %
 Pnom ratio 0.80 Show sizing
 Nb. modules 6 Area 12 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 191 V
 Vmpp (20°C) 229 V
 Voc (-10°C) 307 V
 Plane irradiance 1000 W/m²
 Imp (STC) 9.0 A
 Isc (STC) 9.5 A
 Isc (at STC) 9.5 A

The inverter power is slightly oversized.
☐ Max. in data
☒ STC
 Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C 1.8 kW
 Array nom. Power (STC) 2.0 kWp

(a)

Grid system definition, Variant "New simulation variant"

Global System configuration
 2 Number of kinds of sub-arrays
 Simplified Schema

Global system summary
 Nb. of modules 15 Nominal PV Power 4.9 kWp
 Module area 29 m² Maximum PV Power 5.0 kWdc
 Nb. of inverters 1 Nominal AC Power 5.0 kWac

Sub-array #1 Sub-array #2

Sub-array name and Orientation
 Name Sub-array #2 Order 2
 Orient. Fixed Tilted Plane Tilt 10° Azimuth -22°

Presizing Help
☒ No sizing Enter planned power 0.0 kWp
 ... or available area(modules) 0 m²

Select the PV module
 Available Now Filter All PV modules
 Jinkosolar 320 Wp 32V Si-poly JKM 320PP-72-V Since 2016 Manufacturer 2017
 Sizing voltages : Vmpp (60°C) 32.1 V
 Voc (-10°C) 51.7 V
☐ Use Optimizer

Select the inverter
 All inverters Output voltage 230 V Mono 50Hz
 Fronius International 5.0 kW 80 - 800 V TL 50/60 Hz Primo 5.0-1 Since 2015
 Nb of MPPT inputs 1 Operating Voltage: 80-800 V Inverter power used 2.5 kWac
☒ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 1000 V Inverter with 2 MPPT
☒ 50 Hz
☒ 60 Hz
 Power sharing

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series 9 between 3 and 19
 Nbre strings 1
 Overload loss 0.1 %
 Pnom ratio 1.15 Show sizing
 Nb. modules 9 Area 17 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 289 V
 Vmpp (20°C) 346 V
 Voc (-10°C) 465 V
 Plane irradiance 1000 W/m²
 Imp (STC) 8.6 A
 Isc (STC) 9.1 A
 Isc (at STC) 9.1 A

☐ Max. in data
☒ STC
 Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C 2.6 kW
 Array nom. Power (STC) 2.9 kWp

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software PVSyst

Com a exceção da observação, no *Sub-array 1*, de que o inversor está ligeiramente sobre dimensionado (uma vez que a potência no MPPT é ligeiramente inferior a nominal), não há nenhuma mensagem de erro, indicando uma configuração danosa do sistema, sendo permitido, assim, o prosseguimento da simulação.

Dessa forma, a produção anual da planta piloto do estacionamento solar é estimada em 6.145 kWh, a produção mensal média é estimada em 512 kWh e a *performance ratio* do sistema é de 83,46%, resultados apresentados na Tabela 15, que compila todos os dados fornecidos pelo PVSyst.

Tabela 15 – Resultado da simulação da planta piloto do estacionamento solar - PVSyst

Mês	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (MWh)	EGrid (MWh)	PR
Janeiro	150,8	82,77	20,92	148,1	143,7	0,621	0,591	0,816
Fevereiro	134,8	73,01	21,26	136,1	132,4	0,571	0,543	0,817
Março	125,1	74,06	20,93	128,5	124,9	0,545	0,519	0,826
Abril	101,0	52,77	18,79	108,4	105,3	0,465	0,442	0,834
Maio	92,3	46,61	15,19	102,6	99,4	0,452	0,430	0,857
Junho	82,0	41,67	14,38	92,0	89,0	0,407	0,387	0,861
Julho	92,2	43,29	13,55	103,0	99,8	0,456	0,434	0,861
Agosto	112,7	46,28	15,04	124,4	121,0	0,542	0,517	0,849
Setembro	115,6	65,90	15,27	121,0	117,3	0,527	0,502	0,848
Outubro	134,7	77,42	17,76	136,0	132,0	0,585	0,557	0,837
Novembro	160,5	74,80	18,61	158,5	154,2	0,666	0,636	0,821
Dezembro	150,0	81,39	20,11	147,2	143,2	0,618	0,588	0,817
Ano	1.451,7	759,96	17,63	1.505,7	1.462,2	6,455	6,145	0,835

Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do software PVSyst

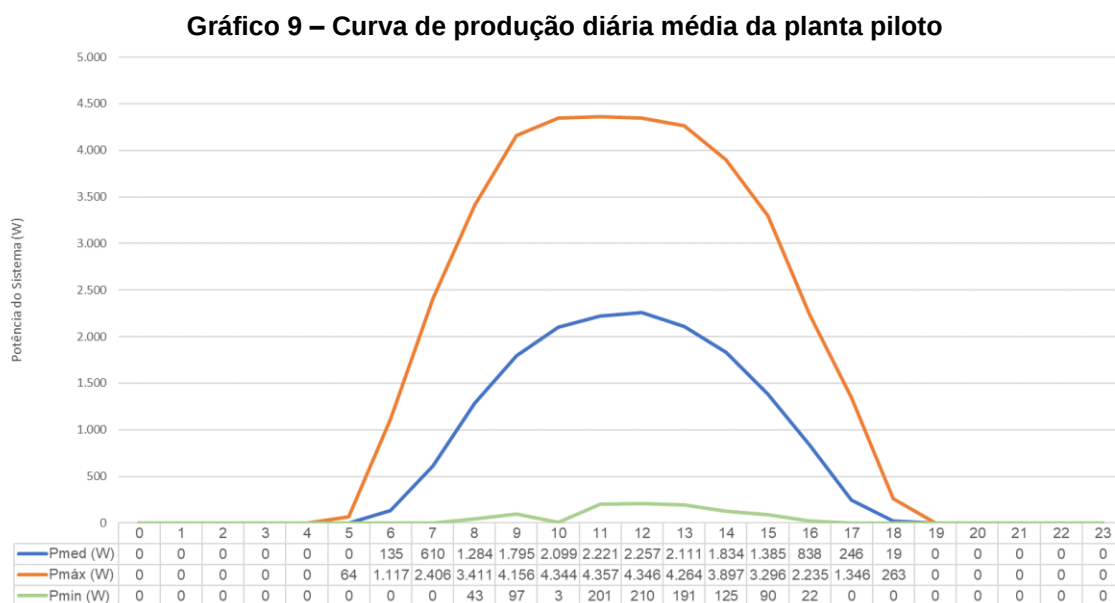
Onde:

- GlobHor: é a irradiação global horizontal;
- DiffHor: é a irradiação difusa horizontal;
- T Amb: é a temperatura ambiente;
- GlobInc: é a irradiação global no plano inclinado;
- GlobEff: é a irradiação global efetiva no plano inclinado (levando em conta sombreamento e IAM);
- EArray: energia efetiva na saída do arranjo fotovoltaico;
- EGrid: energia injetada na rede;
- PR: *performance ratio* do sistema.

Dos resultados da simulação no PVSyst e da projeção com os dados de irradiação do Atlas Paranaense de Energia Solar, fica claro a proximidade dos

resultados. A discrepância na produção anual e média mensal foi de somente 0,585%, indicando a proximidade dos modelos solarimétricos empregados.

Com o *software* PVSyst, é possível acessar a curva diária de produção da planta piloto simulada, para cada dia do ano. Ao exportar estes dados para o *software* Excel, é possível obter as curvas mínima, média e máxima simuladas de produção diária do sistema fotovoltaico, conforme apresentado pelo Gráfico 9.



Fonte: Elaborado pelo autor

O pico de potência médio é de 2,26 kW, sendo atingido ao meio dia. Uma vez que esta é a curva média, o resultado é um equilíbrio entre os dias de produção elevada e dias de pouca geração fotovoltaica. O pico de potência simulado ao longo de todo ano, foi de 4,36 kW, ocorrendo no dia 01 de fevereiro, às 11h. A energia média produzida ao longo de um dia é de 16,7 kWh.

4.3 MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO DA PLANTA PILOTO

Após aprovação do sistema na concessionária de energia, no dia 31 de maio de 2019, o mesmo tem se mantido conectado com a rede elétrica da sede Neville, onde é feito a injeção de energia do sistema.

Uma vez que não é possível levar sinal de *wifi*, ou de rede, até o local da instalação, foi configurado o monitoramento do inversor Fronius Primo 5.0-1 através do sinal roteado de um dispositivo celular. Dessa forma, toda vez que o inversor tem acesso a esse sinal roteado, ele faz o *upload* para o servidor da Fronius, dos dados de produção do sistema. Assim, sempre que um pesquisador do grupo LABENS tem disponibilidade de ir até a planta, o monitoramento dos dados é atualizado.

Até o presente momento, estão disponíveis os dados de produção do dia 12 de junho de 2019 até o dia 13 de novembro de 2019. Ao longo desse tempo, o sistema gerou 2.407,96 kWh de energia, operando com uma média de 15,64 kWh por dia.

No Gráfico 10 são apresentadas as gerações mensais referentes aos meses monitorados, e na Tabela 16, é feita uma análise comparativa entre o estimado e a produção real, com a exceção de junho e novembro que não foram monitorados durante todo o mês:



Tabela 16 – Comparação dos dados da planta piloto reais e estimados

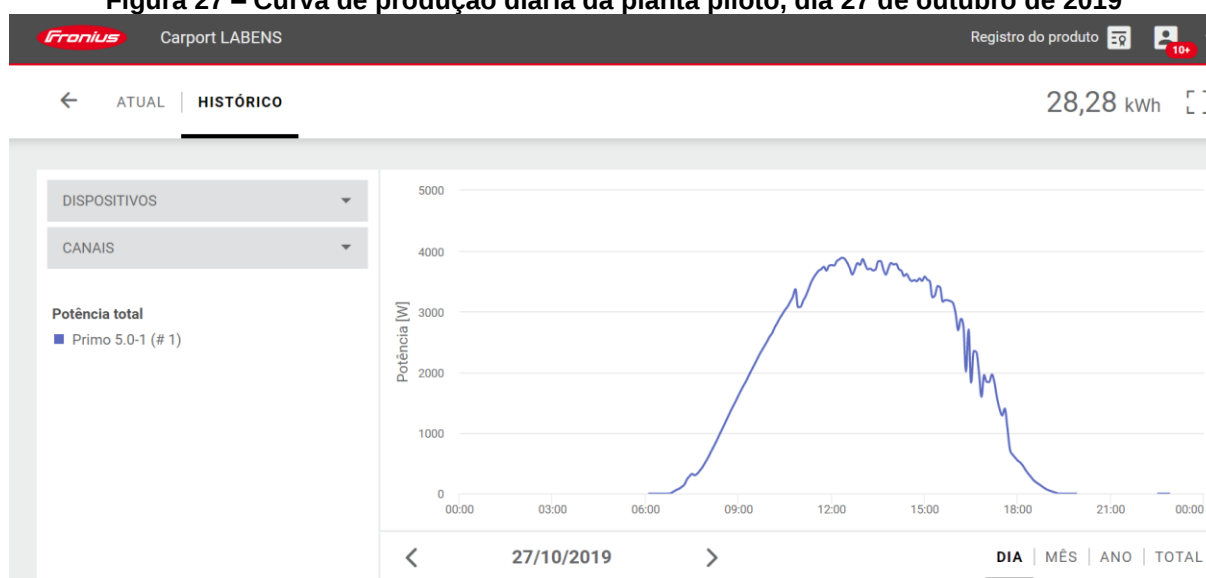
	jul/19		ago/19		set/19		out/19	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Produzido pela planta piloto	485,0		461,2		422,0		582,1	
Simulado pelo PVSyst	434,0	11,75%	517,0	-10,79%	502,0	-15,92%	557,0	4,51%
Calculado através do Atlas Paranaense e Radiasol	364,2	33,17%	483,5	-4,61%	468,0	-9,82%	528,7	10,11%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através dos resultados vê-se que a produção da planta piloto no mês de junho foi superior às estimativas realizadas, inclusive sendo superior às produções de agosto e setembro. Julho foi um mês com excelentes condições de irradiação, enquanto agosto e setembro foram meses chuvosos e nublados. A média da geração mensal, ao longo desses meses é de 487,60 kWh.

Na Figura 27, é apresentado a curva de geração da planta piloto para o dia 27 de outubro de 2019, em que houve a maior produção diária até o presente momento. Neste dia, foram injetados 28,28 kWh na sede Neville através do estacionamento solar, sendo que o pico de potência foi de 3,89 kW.

Figura 27 – Curva de produção diária da planta piloto, dia 27 de outubro de 2019



Fonte: SolarWeb – Fronius

4.4 PROJEÇÃO DO ABASTECIMENTO DE VE COM A PLANTA PILOTO

No capítulo 3.4, foi definido que o padrão de deslocamento diário, será de 25 km para os usuários de VE, de forma a simular o uso da planta piloto do Neville para carregar os veículos. Desses 25 km, 11 km são para ir até a universidade, 11 km para retornar e mais 3 km definidos para cobrir necessidades diversas. Dessa forma, será considerado que, para chegar até a universidade, os veículos terão se deslocado 12,5 km.

Com base nos dados de autonomia da Tabela 7 dos veículos elencados, e da capacidade das baterias destes, foi calculada a energia consumida para percorrer os 12,5 km para cada modelo. Os resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 17 – Consumo dos VE para percorrer 12,5 km

Modelo	Autonomia (km)	Capacidade da Bateria (kWh)	Energia consumida para percorrer 12,5 km (kWh)
BMW i3	160	42,2	3,30
Renault Zoé R90	300	41,0	1,71
Nissan Leaf	389	40,0	1,29
Chevrolet Bolt	380	60,0	1,97
Jac iEV 40	300	40,0	1,67
Eco Auto	53	15,1	3,56

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que a planta piloto foi projetada para atender duas vagas, também foi verificado a energia consumida para atender dois VE, com o mesmo padrão de deslocamento. Os resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 18 – Energia consumida por dois VE

Modelo	Energia consumida para percorrer 12,5 km para dois VE (kWh)
BMW i3	6,59
Renault Zoé R90	3,42
Nissan Leaf	2,57
Chevrolet Bolt	3,95
Jaci EV 40	3,33
Eco Auto	7,12

Fonte: Elaborado pelo autor

Finalmente, com base na Equação 6, foi estimado o número de VE que seria possível atender com a planta piloto diariamente, de acordo com a produção média diária de 16,7 kWh, calculada com o PVSyst, e com o padrão de deslocamento estipulado. Os resultados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 19 – Quantidade de VE possíveis de serem atendidos pela planta piloto por dia

Modelo	Nº VE/dia
BMW i3	5
Renault Zoé R90	9
Nissan Leaf	12
Chevrolet Bolt	8
Jaci EV 40	10
Eco Auto	4

Fonte: Elaborado pelo autor

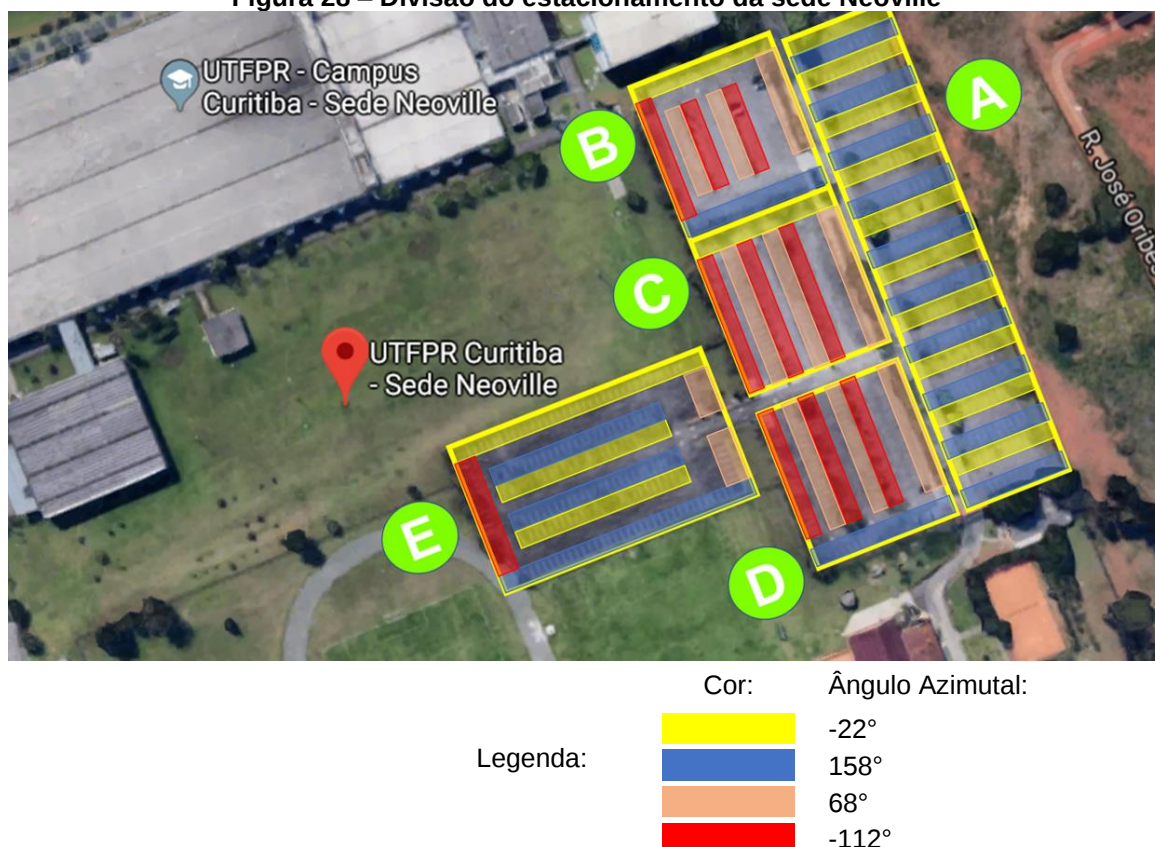
Apenas duas vagas do estacionamento solar, com uma capacidade fotovoltaica de apenas 4,89 kWp, é capaz de atender a demanda de 4 a 12 veículos elétricos, quantidade variando em função dos modelos destes.

Vale ressaltar, a proximidade de energia consumida entre os veículos Eco Auto e o BMW i3, para percorrer a mesma distância, lembrando que o Eco Auto foi um veículo adaptado com poucos recursos.

4.5 PROJEÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA TODO O ESTACIONAMENTO DA SEDE NEOVILLE DA UTFPR

Para projetar o estacionamento solar para todo o estacionamento, o mesmo foi dividido em 5 regiões: A, B, C, D e E. Cada região, por sua vez, foi dividida em função do ângulo azimutal, sendo quatro possibilidades: -22°, 158°, 68° e -112°. As divisões são exemplificadas na Figura 28.

Figura 28 – Divisão do estacionamento da sede Neoville



Fonte: Elaborado pelo autor, com o auxílio do software Google Earth

Para a simulação, foram desconsiderados os efeitos de sombreamento, parcial ou total, que árvores, edifícios e demais objetos sejam capazes de causar sobre os arranjos fotovoltaicos.

A Tabela 19 apresenta a quantidade de módulos que cada fila vai receber, bem como a potência por trecho de ângulo azimutal, para cada região. Para fazer a distribuição dos módulos, levou-se em consideração o modelo de estrutura de *carport* da Sonnen, conforme modelo doado para a planta piloto.

Assim, cada *carport* de 2 vagas é composto por 15 módulos de 72 células e, para os trechos com números ímpares de vagas, foi considerada o *carport* de 1 vaga, composto por 9 módulos.

O módulo fotovoltaico considerado no projeto é o CS3U-340P de 1.500 W, por apresentar uma excelente relação de custo benefício nos dias atuais, retratando a realidade de execução de um projeto deste porte. Vale ressaltar que, apesar de módulos de maior potência existirem e estarem disponíveis no mercado, o uso dos mesmos implicaria em custos excessivos, o que inviabilizaria o desenvolvimento do projeto.

Somando todas as vagas disponíveis, todo o estacionamento da sede Neville é composto por 781 vagas. A capacidade de potência instalada do sistema fotovoltaico, para cobrir todas as vagas, considerando o módulo de 340 Wp, seria de 1,998 MWp.

Tabela 20 – Distribuição das vagas para cobrir todo o estacionamento da sede Neville

Região	Orientação	Nº Filas	Nº Vagas/ Fila	Nº Mod/ Fila	Total Módulos	Pot (kW) /Fila	Pot total (kW)
A	-22°	10	10	75	750	25,50	255,00
	158°	10	10	75	750	25,50	255,00
B	-22°	1	14	105	105	35,70	35,70
	68°	1	13	99	99	33,66	33,66
		2	14	105	210	35,70	71,40
	158°	1	18	135	135	45,90	45,90
	-112°	1	16	120	120	40,80	40,80
		2	14	105	210	35,70	71,40
C	-22°	1	16	120	120	40,80	40,80
	68°	1	19	144	144	48,96	48,96
		2	21	159	318	54,06	108,12
	-112°	1	22	165	165	56,10	56,10
		2	21	159	318	54,06	108,12
D	68°	1	20	150	150	51,00	51,00
		2	21	159	318	54,06	108,12
	158°	1	16	120	120	40,80	40,80
	-112°	1	19	144	144	48,96	48,96
		2	21	159	318	54,06	108,12
E	-22°	1	33	249	249	84,66	84,66
		2	24	180	360	61,20	122,40
	68°	1	5	39	39	13,26	13,26
		1	6	45	45	15,30	15,30
	158°	1	32	240	240	81,60	81,60
		2	24	180	360	61,20	122,40
	-112°	1	12	90	90	30,60	30,60

Fonte: Elaborado pelo autor

A configuração dos sistemas fotovoltaicos que compõem o estacionamento foi feita, respeitando as divisões de regiões, as diferenças de ângulos azimutais e a quantidade de módulos total que deveria ser distribuído para cada situação.

Por exemplo, a potência total da região A, com ângulo azimutal de -22°, de 255 kWp será tratada como um sistema fotovoltaico único. Para isso, um ou mais inversores podem ser considerados para atender esta demanda. Neste caso específico, será feito uma distribuição da potência entre 2 inversores SG110CX e 1 inversor SG50CX da Sungrow.

Devido aos diversos modelos de inversores com potências distintas disponíveis, optou-se por trabalhar com a marca de inversores Sungrow, que permitia uma variedade de opções para alocar todos os sistemas, trabalhando sempre com o mesmo fabricante.

A configuração arranjo fotovoltaico deve respeitar as características de entrada do inversor, de forma a operar de forma eficiente, de acordo com as equações (1), (2), (3) e (4) apresentadas no Capítulo 2.

Uma vez tendo definido a configuração dos arranjos, foi possível efetuar a simulação da geração de todos os sistemas no *software* PVSyst.

Os resultados gerais, contendo as configurações dos arranjos e a geração simulada, são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Configuração dos arranjos do estacionamento solar e projeção da geração

Região	Orient	Total Mód	Pot total (kW)	Inversor		Configuração			Performance	
				Modelo	MPPT Disp	MPPT Usado	Strings	Mód	Produção (MWh/ano)	PR
A	-22°	750	255,00	SG50CX	5	3	6	17	354,32	0,861
				SG110CX	9	1	2	16		
				SG110CX	9	7	14	22		
	158°	750	255,00	SG50CX	5	3	6	17	321,56	0,863
				SG110CX	9	1	2	16		
				SG110CX	9	7	14	22		
B	-22°	105	35,70	SG36KTL	3	3	5	21	49,49	0,859
	68°	309	105,06	SG110CX	9	6	12	21	142,51	0,864
	158°	135	45,90	SG50CX	5	5	9	15	57,29	0,854
	-112°	330	112,20	SG110CX	9	8	15	22	146,29	0,865
C	-22°	120	40,80	SG40CX	4	3	6	20	56,87	0,863
		144	48,96	SG50CX	5	4	8	18		
	68°	318	108,12	SG110CX	9	7	14	17	212,34	0,861
						2	4	20		
	-112°	165	56,10	SG50CX	5	4	8	18	213,65	0,863
		318	108,12	SG110CX	9	1	1	21		
D	68°	150	51,00	SG50CX	5	5	10	15	214,40	0,858
		318	108,12	SG110CX	9	7	14	17		
	158°	120	40,80	SG40CX	4	4	8	15	50,86	0,853
		144	48,96	SG50CX	5	4	8	18		
	-112°	318	108,12	SG110CX	9	7	14	17	204,43	0,863
						2	4	20		
E	-22°	609	207,06	SG110CX	9	9	17	19	288,61	0,863
				SG110CX	9	7	14	19		
						1	1	20		
	68°	84	28,56	SG33CX	3	3	6	14	38,03	0,848

Região	Orient	Total Mód	Pot total (kW)	Inversor		Configuração			Performance	
				Modelo	MPPT Disp	MPPT Usado	Strings	Mód	Produção (MWh/ano)	PR
	158°	600	204,00	SG110CX	9	8	15	20	258,37	0,867
				SG110CX	9	8	15	20		
	-112°	90	30,60	SG33CX	3	3	5	18	39,81	0,863

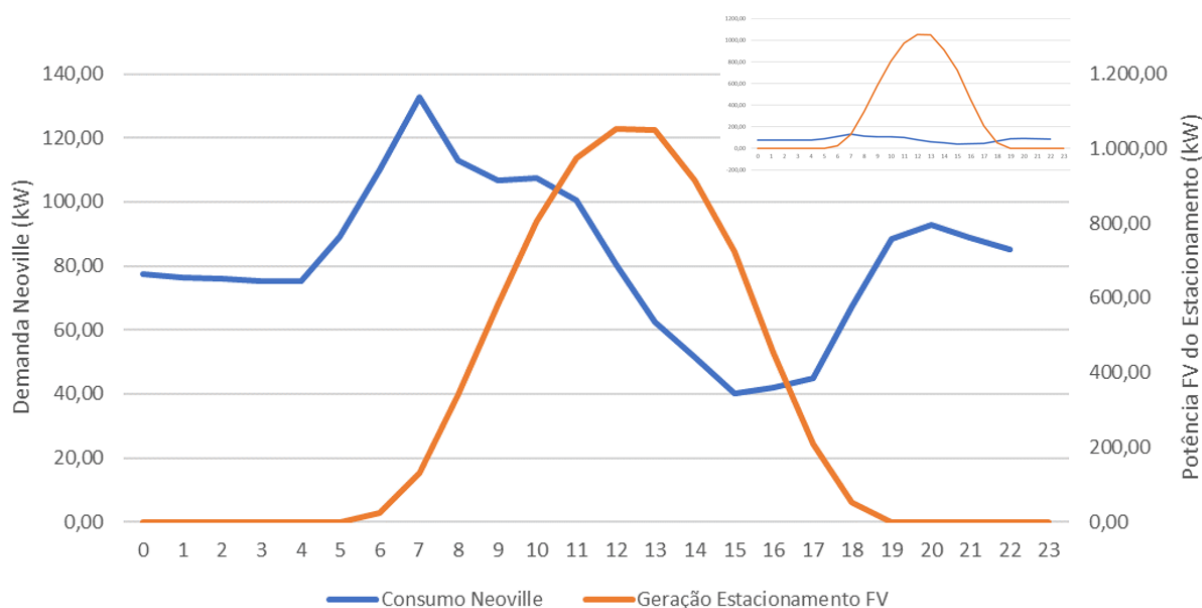
Fonte: Elaborado pelo autor

A potência total do sistema implantado seria de 1,998 MW de módulos, com 2,072 MW de potência de inversores.

Caso todo o estacionamento da UTFPR campus Curitiba, sede Neoville, fosse transformado em um estacionamento solar fotovoltaico, seria possível produzir 2.648 MWh de energia por ano. Esse montante é equivalente à 220,73 MWh por mês de geração, ou 7,36 MWh por dia.

Segundo Mariano (2017), o consumo diário médio da sede Neoville da UTFPR, é de 2 MWh. Isso significa que o estacionamento solar seria capaz de atender toda a demanda da sede Neoville e, ainda, gerar créditos para uso das outras sedes do campus Curitiba. O consumo total das três sedes da UTFPR, campus Curitiba, consomem diariamente uma média de 56,5 MWh, ou seja, o estacionamento solar da sede Neoville seria capaz de, sozinho, suprir 13,03% de toda a necessidade energética das três sedes.

No Gráfico 11, é apresentado a comparação da injeção de potência diária média na rede da sede Neoville da UTFPR, com a curva média de demanda da instituição.

Gráfico 11 – Curva de produção vs Curva de demanda da sede Neville

Fonte: Elaborado pelo autor

O total da área disponível de estacionamento da sede Neville, da UTFPR, é de 23.850 m². Ou seja, toda essa área já em uso pode ter seu aproveitamento maximizado, ao implantar o sistema fotovoltaico, evitando a necessidade de alocação de espaços adicionais.

Segundo a GREENER (2019), o custo de implantação de um sistema desta magnitude, com instalação no solo, está em R\$ 3,42 por Wp. Isso resultaria em um custo aproximado de pelo menos R\$ 6,840 milhões.

4.6 PROJEÇÃO DO ABASTECIMENTO DE VE USANDO TODO O ESTACIONAMENTO SOLAR DO NEOVILLE

Utilizando os mesmos 12,5 km, já estipulados, como padrão de deslocamento para ir até a universidade, bem como os dados de autonomia apresentados na Tabela 7, e a produção média diária esperada de 7,36 MWh, foram calculados a quantidade de VE, por modelo, que o estacionamento solar fotovoltaico da sede Neville, da UTFPR, poderia atender diariamente. Os resultados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 22 – Quantidade de VE possíveis de serem atendidos diariamente por todo o estacionamento fotovoltaico da sede Neoville

Modelo	Nº VE/dia
BMW i3	2.232
Renault Zoé R90	4.308
Nissan Leaf	5.726
Chevrolet Bolt	3.729
Jaci EV 40	4.416
Eco Auto	2.066

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma planta de 2 MW de capacidade instalada, estendendo-se por 781 vagas de automóveis, seria capaz de atender de 2.066 a 5.726 veículos, dependendo do modelo e da eficiência destes, para o padrão de deslocamento proposto.

Um cenário em que 2.066 a 5.726 veículos elétricos sejam utilizados diariamente para se deslocar até a universidade seria otimista, se for levado em consideração que, no total, a UTFPR conta com 33.997 alunos matriculados, 2.840 docentes e 1.182 técnicos administrativos, distribuídos em seus 13 campus do estado do Paraná. Ou seja, estaria sendo considerado de 5,4 a 15,0% do total de usuários de todos os campus, para um produto comercial que, até então, não tem como público alvo alunos universitários.

Além do mais, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2019), de 2012 até agosto de 2019, o número de veículos híbridos elétricos licenciados no Brasil somava somente 14.838 unidades, sendo que destas 4.172 foram adquiridas no ano de 2019 (ANFAVEA, 2019). Isso significa que o estacionamento fotovoltaico da UTFPR, sede Neoville, poderia por si só atender de 13,9 a 38,6% de toda a frota de veículos híbridos elétricos do Brasil.

4.7 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO₂

Com base nos padrões de consumo dos VCI definidos no capítulo 3.5, e o padrão de deslocamento de 12,5 km para ir até a universidade, o consumo dos combustíveis VCI seria de:

- 1,025 l para veículos se deslocando a base de diesel e gasolina;
- 1,471 l para veículos se deslocando a base de etanol.

Assim, levando em consideração os consumos dos VE para percorrer 12,5 km, apresentados na Tabela 18, as quantidades de VE que a planta piloto conseguiria atender, expostos na Tabela 21, bem como os fatores de emissões,

tanto da matriz elétrica brasileira em 2018 quanto da fonte de energia solar fotovoltaica, definidos no capítulo 3.5, é possível estipular as emissões resultantes do uso do VE, através da Equação (9). Da mesma forma, ao se levar em consideração o consumo de combustível dos VCI, para percorrer 12,5 km, a quantidade de VCI analisada, sendo a mesma que a quantidade de veículos que a planta piloto conseguiria atender, e os fatores de emissão atrelados a cada combustível, definidos no capítulo 3.5, é possível estipular as emissões resultantes do uso dos VCI, através da Equação (7). A Tabela 22 sintetiza os resultados.

Tabela 23 – Emissões relativas ao VE vs emissões relativas ao VCI, com base na quantidade de veículos que a planta piloto é capaz de atender

Modelo	Veículos/dia	Emissões (tCO ₂ /ano)				
		Diesel	Gasolina	Etanol	Matriz elétrica brasileira de 2018	Energia solar fotovoltaica
BMW i3	5	3,20	2,49	0,86	0,66	0,25
Renault Zoé R90	9	5,76	4,49	1,54	0,61	0,23
Nissan Leaf	12	7,68	5,98	2,05	0,61	0,23
Chevrolet Bolt	8	5,12	3,99	1,37	0,63	0,24
Jac i EV 40	10	6,40	4,98	1,71	0,66	0,25
Eco Auto	4	2,56	1,99	0,68	0,57	0,22

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que o diesel é o combustível que tem o maior fator de emissão de GEE, é natural que o mesmo seja o mais impactante ao meio-ambiente, o que é preocupante, visto que o diesel representou 43,6 % do consumo de combustível dos transportes em 2018, enquanto a gasolina contou com 25,8% de participação e o etanol com 18,8% (BEN, 2019).

Ao substituir o diesel por gasolina, é possível reduzir as emissões em 22%, enquanto que o etanol consegue reduzir estes impactos em até 73%. Por sua vez, ao fazer a transição para o uso de veículos elétricos, o carregamento destes através da matriz elétrica brasileira de 2018 permitiria uma redução em até 79%, enquanto que o uso da energia solar traria uma redução das emissões de GEE de até 98%.

A Tabela 23 apresenta os resultados possíveis, ao se estender a análise para a quantidade de veículos que seria possível atender com a implantação do sistema fotovoltaico em todo o estacionamento da sede Neville.

Tabela 24 – Emissões relativas ao VE vs emissões relativas ao VCI, com base na quantidade de veículos que todo o estacionamento da sede Neville seria capaz de atender

Modelo	Veículos/dia	Emissões (tCO ₂ /ano)				
		Diesel	Gasolina	Etanol	Matriz elétrica brasileira de 2018	Energia solar fotovoltaica
BMW i3	2.232	1.112,52	1.112,52	382,07	293,17	111,26
Renault Zoé R90	4.308	2.757,47	2.147,29	737,43	293,20	111,28
Nissan Leaf	5.726	3.665,11	2.854,08	980,16	293,22	111,28
Chevrolet Bolt	3.729	2.386,87	1.858,69	638,32	293,22	111,28
Jac EV 40	4.416	2.826,60	2.201,12	755,92	293,22	111,28
Eco Auto	2.066	1.322,41	1.029,78	353,65	293,13	111,25

Fonte: Elaborado pelo autor

Enquanto a planta piloto, com suas duas vagas de estacionamento, é capaz de permitir em média uma redução de 5 para 0,24 tCO₂ no ano, todo o estacionamento da sede Neville permitiria reduzir em média de 2,4 mil para 111,28 tCO₂ no ano.

O transporte de passageiros no estado do Paraná foi responsável pelas emissões de 7,414 milhões de tCO₂ no ano de 2017 (SEEG, 2019), isso significa que uma frota de 5.726 veículos a base do diesel representaria 0,05% do total das emissões de transporte de passageiros, as quais poderiam ser evitadas quase que em totalidade ao passar ao uso de VE.

Por outro lado, Curitiba conta com uma frota de 1,062 milhões de automóveis, o que é 24% da frota total de automóveis do estado do Paraná (IBGE, 2019). Se esses 1,062 milhões de veículos fossem substituídos por VE, sendo estes carregados através de energia solar fotovoltaica, seria possível alcançar uma redução de 9,17% do total de emissões de GEE oriundas do transporte de passageiro de todo o estado do Paraná, o que implicaria em reduzir o que se despeja no meio ambiente, de aproximadamente 680 mil para 35,5 mil tCO₂ por ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo investigar a sinergia entre veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos, enquanto instrumentos de gestão energética, de redução de emissões de CO₂ e ferramentas de uso social enquanto laboratório vivo. Para isso, foi desenvolvido uma planta piloto de um estacionamento de duas vagas, implantado na sede Neville do campus Curitiba da UTFPR, bem como foi realizado uma série de simulações de forma a estimar e extrapolar os resultados.

Primeiramente, a construção da planta piloto em si oportunizou um momento de contato prático com as tecnologias solar fotovoltaica e de veículos elétricos para muitos dos pesquisadores do LABENS. Esse benefício pode ser estendido a toda a comunidade externa, uma vez que em raio de 5 km, da sede Neville da UTFPR, existem pelo menos 15 escolas públicas de ensino fundamental e médio. Através da planta piloto, é possível demonstrar na prática os conceitos das tecnologias, as formas de operação, consequências e cuidados, sendo possível tratar estes aspectos de forma lúdica e interativa.

Além do mais, podem ser integrados à planta piloto diversas outras tecnologias e conceitos para investigação científica, tais como: baterias elétricas das mais variadas tecnologias, células combustíveis, carregadores de veículos elétricos, diferentes tecnologias de inversores de frequência, diferentes tecnologias de módulos, sistemas de gestão de carregamento de VE, sistema de gestão de produção fotovoltaica, tecnologia *blockchain* de transação de dados, tecnologia de inteligência artificial ou *machine learning* para tratamento dos dados gerados, desenvolvimento de estruturas para sistemas fotovoltaicos, ou de estacionamentos, com diferentes ergonômias, características e materiais, análise de diferentes padrões de uso de VE, teste práticos de novos conceitos de mobilidade urbana, dentre diversas outras possibilidades que se abrem aos pesquisadores e a comunidade local.

De fato, a planta piloto de duas vagas de estacionamento, de capacidade produtiva de apenas 4,89 kWp, seria capaz de produzir em média 16,7 kWh por dia, com uma produção média mensal de 512 kWh e anual de 6.145 kWh. Isso seria capaz de atender, para um deslocamento médio de 12,5 km para ir até a universidade, em média a demanda de 4 a 12 VE diariamente, de acordo com os

modelos e autonomia de veículos utilizados. Isso significa reduzir as emissões em média de 5 para 0,2 tCO₂ no ano.

Os dados reais de produção da planta piloto, de junho ao final de outubro de 2019, indicam uma produção média mensal de 487,60 kWh de energia. No total, já foram gerados 2.407,96 kWh, com uma média de 15,64 kWh por dia. O pico da produção, até o momento, se deu no dia 27 de outubro de 2019, com uma geração diária de 28,28 kWh. É válido ressaltar que os dados reais de produção da planta piloto possuem uma divergência de somente -2,61% do que foi estimado através do software PVSyst, e de 7,21% ao que foi estimado graças aos dados do Atlas Paranaense de Energia Solar. Essa divergência pouco significativa valida os métodos de simulação e emprego destes para estimar a capacidade produtiva de sistemas fotovoltaicos.

Quando se estrapola a implantação do sistema para cobertura de todo o estacionamento da sede Neville da UTFPR, composto por 781 vagas, a capacidade de potência implantada do sistema seria de 2 MWp. Isso implicaria em uma produção diária média de 7,36 MWh, ou 220,73 MWh mensais, ou ainda, 2.648 MWh anuais. Essa geração é o suficiente para atender o consumo total da sede Neville, que em 2016 foi de 2 MWh somente, e ainda gerar créditos excedentes para abatimento dos gastos energéticos das demais sedes do campus Curitiba, da UTFPR. Se fosse levado em consideração o consumo das três sedes, o estacionamento solar fotovoltaico da sede Neville seria capaz de suprir 13% de toda a demanda energética. Lembrando que em outras regiões do Brasil, a performance deste sistema seria superior.

A capacidade produtiva do estacionamento solar do Neville, seria o suficiente para atender diariamente, uma média de 2 mil a quase que 6 mil VE, reduzindo as emissões de 2,4 mil para 111,28 tCO₂ no ano, o que resultaria na redução de 0,05% das emissões de transporte de passageiros em todo o estado do Paraná.

O estacionamento fotovoltaico da sede Neville da UTFPR seria capaz de atender a demanda, por si só, de 13,9 a 38,6% de toda a frota de veículos híbridos elétricos do Brasil. O mercado de VE ainda vai levar muito tempo para se desenvolver e atingir um patamar em que esse número de usuários seja representativo dentro de um ambiente universitário. Porém, é válida a análise de que a substituição da frota de automóveis de Curitiba por VE, composta por

aproximadamente 1 milhão de carros, seria capaz de permitir uma redução das emissões de CO₂ do transporte de passageiros no estado do Paraná em até 9,17%, o que representa uma redução de aproximadamente 680 mil para 35,5 mil tCO₂ emitidos por ano.

O potencial de redução de emissão de CO₂ oriundas da utilização de VE alimentados por energia solar, é de até 98% quando comparado ao uso do diesel, de 90% comparado ao uso da gasolina, de 71% levando em consideração o etanol e 62% quando se compara com o uso da matriz elétrica brasileira de 2018.

Este trabalho identificou o grande potencial de exploração do estacionamento da sede Neville para geração de energia elétrica, através de sistemas fotovoltaicos. Se por um lado, a quantidade de veículos elétricos passíveis de serem atendidos é exorbitante para o cenário atual da mobilidade elétrica brasileira, outras possibilidades podem ser conferidas a este estacionamento, o que vai de acordo com o uso futuro destes espaços. Sistemas fotovoltaicos podem ser adaptados facilmente às mais diversas instalações. Assim, nada impede que o espaço do estacionamento seja usado de forma mista para atender veículos, mas também como laboratório, por exemplo, maximizando o uso institucional da ferramenta, como mencionado previamente; ou ainda como estacionamento misto de veículos e bicicletas, inclusive atendendo bicicletas elétricas; ou sendo utilizado como posto de recarga de automóveis, e linhas de ônibus elétricos destinado ao uso da universidade, afinal a produção energética é elevada; enfim, as possibilidades são imensas de converter este espaço em ferramenta de pesquisa, mas também de gestão de mobilidade urbana.

Além da dificuldade da existência de toda essa demanda energética de VE, outro ponto limitante é o desenvolvimento real de um sistema fotovoltaico para cobrir todo o estacionamento da sede Neville. A construção da planta piloto foi possível, graças a doação de equipamentos e serviços, por empresas privadas interessadas em aumentar o contato de suas tecnologias com futuros profissionais do mercado, bem como, no voluntarismo dos pesquisadores do LABENS para contribuir com os trabalhos construtivos.

Entretanto, o desenvolvimento de um sistema de 2 MW implicaria na necessidade de elaboração de projetos complexos, de licenças ambientais, de requisitos de equipamentos específicos para proteção do sistema, de mão de obra

especializada e um volume de materiais maior, não sendo possível conseguir os mesmos através de doações.

De fato, o custo estimado da implantação de um sistema deste porte é de pelo menos R\$ 6,84 milhões. Se por um lado, este é um montante elevado dada as condições atuais de cortes e bloqueio de verbas nas instituições públicas de ensino, por outro, existe a possibilidade de aprovação de tal projeto no Programa de Eficiência Energética da COPEL Distribuição S. A. De acordo com a Lei 9991/2000, é previsto a aplicação de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias de energia em projetos de eficiência energética. Para 2019, a COPEL dispõe de R\$ 235,69 milhões para investimento em projetos deste tipo (COPEL, 2019).

Em uma eventual aprovação, seria necessário atualizar o projeto proposto, para uso de equipamentos mais eficientes, visto que regularmente são inseridos no mercado módulos fotovoltaicos mais eficientes, retratando a realidade de custo benefício do momento.

Finalmente, dados os resultados obtidos e as análises efetuadas, é possível atestar que o uso da energia solar fotovoltaica em conjunto com veículos elétricos é extremamente benéfica no que tange à gestão energética, à redução das emissões de CO₂ e, através da planta piloto desenvolvida, no emprego da mesma enquanto instrumento de pesquisa para desenvolvimento social e tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo, 2012.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR IEC 61851-1 – Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos, parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar). **Gestão ambiental: setor de energia renovável gera mais de 10 milhões de empregos no mundo**. São Paulo, 19 de dezembro de 2018. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/gestao-ambiental-setor-de-energia-renovavel-gera-mais-de-10-milhoes-de-empregos-no-mundo-diz-estudo.html>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar). **Setor fotovoltaico vai gerar 672 mil empregos com manutenção do marco regulatório**. São Paulo, 25 de junho de 2019. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/setor-fotovoltaico-vai-gerar-672-mil-empregos-com-manutencao-do-marco-regulatorio.html>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- ALENCAR, Cristiano A.; URBANETZ, Jair J. **Usinas solares fotovoltaicas no Brasil: panorama atual e perspectivas futuras**. INDUSCON 2016, Curitiba.
- ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Banco de informações de geração**. Atualizado em 03 de jul. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 5 de julho de 2018.
- ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Cadernos temáticos ANEEL micro e minigeração distribuída**. 2ª edição. Brasília, maio de 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro++>>.

Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161 >. Acesso em: 10 de junho de 2019.

ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Resolução Normativa no. 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.** Diário Oficial. Brasília, DF, 19 abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 5 de julho de 2018.

ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Resolução Normativa no. 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.** Diário Oficial. Brasília, DF, 24 nov. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Unidades consumidoras com geração distribuída, por data de conexão.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/VerGD.asp>>. Acesso em: 5 de julho de 2018.

ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica). **Unidades consumidoras com geração distribuída: Informações Compiladas e Mapa.** Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2lwZS00YjVlTlIMjltN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSlslmMiOjR9>>. Acesso em: 22 de maio de 2019.

ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). **Estatísticas, 2019: Autoveículos - Produção, licenciamento, exportações em unidades de montados e CKD (desmontados), exportações em valor e emprego.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

ARIOLI, Vitor T. **Análise de impactos técnicos provocados pela penetração massiva de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica.** 2016, 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016.

BCB (Banco Central do Brasil). **Taxas de juros básicas – Histórico.** Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

BITTENCOURT, Alice H. **Estratégia para o gerenciamento do balanço da geração fotovoltaica de energia elétrica integrada à edificação e veículos elétricos em rede inteligente**. 2014, 226f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2014.

BP (British Petroleum). **BP Statistical Review of World Energy**. 2019, 68th edition. 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>>. Acesso em 24 de setembro de 2019.

BRANCATELLI, Rodrigo. SP: ¼ da área construída é dos carros. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 21 de março de 2012. Cidades/Métropole, C3.

BRINCO, Ricardo. **Políticas de estacionamento e efeitos na mobilidade urbana**. Indicadores Econômicos FEE, Porto Alegre, v.44, n. 2, p. 109-124, 2016.

CAMPOS, Henrique Marin Van de Broocke. **Geração distribuída de energia solar fotovoltaica na matriz elétrica de Curitiba e região: um estudo de caso**. 2016. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016.

CHRISPIM, Mariana C.; SOUZA, Jhonathan F. T. de; SIMÕES, A. F. **Avaliação comparativa entre veículos elétricos e veículos convencionais no contexto de mitigação das mudanças climáticas**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 1, p. 127-148, 2019.

COPEL (Companhia Paranaense de Energia). **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F8AADA72F6EE93878832583B500660092>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

COSTA, João A. F. D. **Análise dos Impactos Energéticos de Veículos Autônomos**. 2018. 73f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia de Energia e do Ambiente), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.

ENGEL, Tatiana G.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. Porto alegre: Editora da UFRGS, 2009.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanço energético nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro, EPE, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategoriaID=347>>. Acesso em: 5 de julho de 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanço energético nacional 2019: Relatório síntese: ano base 2018**. Rio de Janeiro, EPE, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro, EPE, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2016.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. Rio de Janeiro, EPE, 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20\(NT%20PR%2004-18\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20(NT%20PR%2004-18).pdf)>. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

EXAME. **Trabalhadores brasileiros percorrem 16 km e demoram 40 minutos para chegar ao trabalho, aponta Pesquisa de Mobilidade Alelo**. Editora Abril. Novembro de 2016. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/trabalhadores-brasileiros-percorrem-16-km-e-demoram-40-minutos-para-chegar-ao-trabalho-aponta-pesquisa-mobilidade-alelo-shtml/>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

FALCÃO, Eduardo A. M.; TEIXEIRA, Ana C. R.; SODRÉ, José R. **Analysis of CO₂ emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle**. Applied Energy, v. 193, p. 297–307, 2017.

FERRAZ, Érica; JOHN, Vanderley; BESSA, Vanessa. **Emissões de CO₂ pelo uso de combustíveis**. 3º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS, 2010. São Paulo. 2010. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/sbcs10/website/userFiles/palestras_sbcs_10/emissao_co2_vj.pdf>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

FGV Energia. **Cadernos de Carros Elétricos**. Ano 4, N° 7, maio de 2017. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19179/Caderno%20Carros%20Eletricos-FGV-BOOK%20FINAL.pdf>>. Acesso em 27 de maio de 2019.

FONSECA, José J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRAUNHOFER ISE (Institute for Solar Energy Systems). **Photovoltaics Report**. Freiburg, 2019. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

FREITAS, Henrique. **JAC lança picape elétrica e carro elétrico mais barato do Brasil**. Olhar Digital. 16 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/carros-e-tecnologia/noticia/jac-lanca-picape-eletrica-e-carro-eletrico-mais-barato-do-brasil/90365>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

FRONIUS. **Fronius SNAP Inverters**. Disponível em: <<https://www.fronius.com/en/photovoltaics/expertise/snapinverters>>. Acesso em 27 de maio de 2019.

GATON, Bryce. **What are the different types – and speeds – of EV charging?** The Driven. Agosto de 2018. Disponível em: <<https://thedriven.io/2018/08/28/faq9-ev-charging-speeds-explained/>>. Acesso em 31 de maio de 2019.

GAUTAM, Shubhankar. **What will the parking lot of the future look like?** Get my Parking. Dezembro de 2018. Disponível em: <<http://blog.getmyparking.com/2018/12/13/what-will-the-parking-lot-of-the-future-look-like/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GREENER. **Estudo estratégico: mercado de geração distribuída, 2º trimestre de 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de>>

mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2o-trimestre-de-2019/>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

HANNON, Eric; MCKERRACHER, Colin; ORLANDI, Itamar; RAMKUMAR, Surya. **An integrated perspective on the future of mobility**. McKinsey, 2016. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

HK Electric. **HK Electric's Supply Rules: Technical guidelines on charging facilities for electrical vehicles**. Outubro 2015. Disponível em: <https://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content_2/EV_guidelines.pdf>. Acesso em: 27 de maio de 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Frota de veículos do Brasil: estado do Paraná**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/22/28120?indicador=28120&localidade1=0&localidade2=410690>>. Acesso em 25 de setembro de 2019.

IEA (International Energy Agency). **CO₂ Emissions from Fuel Combustion**. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/co2emissions/>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2018.

IEA (International Energy Agency). **Global EV Outlook 2018**. Disponível em: <<https://www.iea.org/gevo2018/>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2018.

IEA (International Energy Agency). **Scenarios – World Energy Outlook**. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2018.

IEA (International Energy Agency). **Statistics**. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/>>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

IEA (International Energy Agency). **World Energy Outlook 2017**. 14 de nov. de 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2018.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). **Climate change 2007: synthesis report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/main.html>. Acesso em: 05 de julho de 2018.

JUNIOR, Luiz C. P. **A interação entre geradores solares fotovoltaicos e veículos elétricos conectados à rede elétrica pública.** 2011. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2011.

LAUFER, Blake. **Five trends driving the future of parking.** T2 Systems, 2016. Disponível em: <<https://www.t2systems.com/img/T2/banners/T2-eBook-5-Trends.pdf>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

LIS, Laís. **Conta de luz acumula alta média de 31,5% entre 2014 e 2017, diz estudo.** G1, Globo. Brasília. 10 de março de 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/conta-de-luz-acumula-alta-media-de-315-entre-2014-e-2017-diz-estudo.ghtml>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

MARIOTTI, Alexandre A. **A judicialização do direito social ao transporte: a formulação de políticas públicas de mobilidade urbana sustentáveis pelo uso do modal bicicleta.** 2018. 119f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, 2018.

MERMOUD, André; WITTMER, Bruno. **PVSyst Tutorials.** PVSyst SA. Maio de 2017. Satigny, Suíça, 2017. Disponível em: < https://www.pvsyst.com/wp-content/uploads/2019/01/PVsyst_Tutorials.pdf>. Acesso em: 12 de junho de 2016.

MIRANDA, Mariana M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da avaliação do ciclo de vida.** 2012. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MME (Ministério de Minas e Energia). Acordo de Paris. **MME.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2018.

MME (Ministério de Minas e Energia). AIE: Brasil possui a matriz energética menos poluente do mundo. Brasília, 20 de novembro de 2018. **MME.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/aie-brasil-possui-a-matriz-energetica-menos-poluente-do-mundo?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_32hLrOzMKwWb%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-6p_p_col_index%3D0>.

1%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>. Acesso em: 1 de dezembro de 2018.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Energia no Mundo: 2015-2016**. Brasília, MME, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2018.

NL Enterprise Agency. **Electric vehicle charging – definitions and explanation**. Janeiro 2019. Disponível em: <https://www.nklnederland.com/uploads/files/Electric_Vehicle_Charging_-_Definitions_and_Explanation_-_january_2019.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2019.

NOVAIS, Celso R. B. de. **Cadernos de Opinião – Mobilidade Elétrica: Desafios e Oportunidades**. FGV Energia, agosto de 2016. Disponível em: <http://www.fgv.br/fgvenergia/celso_novais_mobilidade_eletrica/files/assets/common/downloads/Celso%20Novais_Mobilidade%20Eletrica.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2019.

NUNES, Pedro; FIGUEIREDO, Raquel; BRITO, Miguel C. The use of parking lots to solar-charge electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 679-693, 2016.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco Jr L.; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L.; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Silvia V.; SOUZA, Jefferson G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª Ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PERRETTO, Henrique; PEREIRA, Juliano da S.; VOLPATO GARCIA, Paulo H. **Análise Estática De Estabilidade De Tensão Com Cenários De Geração Distribuída Através Do Software ANAREDE**. 2016. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016.

PINTO, Marcelo da R. **Internet das coisas, cidades inteligentes e mobilidade urbana: um estudo de caso sobre os smart parkings em vias públicas e os impactos na qualidade de vida da população**. 2017. 64f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2017.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Ferramenta de cálculo.** 2014. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

REN21. **Renewables 2019 Global Status Report.** 2019. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2019.

REUTERS. **Electric carmakers in Europe are going to war over which plug to use.** Business Insider UK. Janeiro de 2018. Disponível em: <<https://www.businessinsider.com/electric-carmakers-in-europe-are-going-to-war-over-which-plug-to-use-2018-1>>. Acesso em 31 de maio de 2019.

ROBINSON, Jessica; BRASE, Gary; GRISWOLD, Wendy; JACKSON, Chad; ERICKSON, Larry. **Business models for solar powered charging stations to develop infrastructure for electric vehicles.** SUSTAINABILITY, 2014.

RUDIO, Franz V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica.** 4.ed. Petrópolis: Vozes, 1980.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa). **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos, período de 1970 – 2016.** Observatório do Clima, 2018. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2018.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa). **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa no Brasil em 2017: perfil das emissões do estado do Paraná.** Observatório do Clima, 2019. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/territories/parana/card?year=2017&cities=false>>. Acesso em: 25 de setembro de 2018.

SILVA, J. C. L. **A Estratégia brasileira de privilegiar as rodovias em detrimento das ferrovias.** 2017. Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/geografia/porque-brasil-adotou-utilizacao-dasrodovias-ao-inves-.htm>>. Acesso em: 29 de setembro de 2019.

SILVA, Jardel E. **Veículos elétricos e a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos.** 2019. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2019.

SIMAS, Moana S. **Energia Eólica e Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Estimativa de Geração de Empregos por Meio de uma Matriz Insumo-Produto Ampliada**. 2012. 220f. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012.

SIPINSKI, Carlos J. B.; SCHMITZ, Lisana K. **O impacto dos estacionamentos nos centros urbanos: o caso de Curitiba**. Vitruvius, 132.02, 2011. Disponível em: <<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.132/3892>>. Acesso em 28 de setembro de 2019.

SOARES, Edvaldo. **Metodologia científica: lógica, epistemologia e normas**. São Paulo: Atlas, 2003.

SOLITTO, André. **Uma geração sem carro**. ISTOÉ, 21 de setembro de 2018. Disponível em: <<https://istoe.com.br/uma-geracao-sem-carro/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

SONNEN Energia. **Carport solar: quais as vantagens e quanto custa?** Santa Maria, 22 de janeiro de 2018. Disponível em: <<http://www.sonnen.com.br/2018/01/22/carport-solar-quais-as-vantagens-e-quanto-custa/>>. Acesso em 08 de junho de 2019.

UCS (Union of Concerned Scientists). **Cleaner Cars from Cradle to Grave: How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions**. Cleaner Cars from Cradle to Grave, p. 1-54, 2015. Disponível em: <<https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/11/Cleaner-Cars-from-Cradle-to-Grave-full-report.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). **UTFPR – Campus Curitiba**. 2016. Disponível em: < <http://portal.utfpr.edu.br/campus/curitiba/sobre>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). **Institucional**. 2017. Disponível em: < <http://portal.utfpr.edu.br/institucional>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

VAZ, Luiz F. H.; BARROS, Daniel C.; CASTRO, Bernardo H. R. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. **BNDS Setorial**, v. 41, p. 295-344, 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

WLTP Facts. **From NEDC to WLTP: what will change?** Disponível em: <<https://wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>>. Acesso em: 03 de setembro de 2019.

YERGIN, Daniel. **A Busca: energia, segurança e reconstrução do mundo moderno**. Tradução: Ana Beatriz Rodrigues. 1 ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.